

INFORME TECNICO FINAL DE PROYECTOS DE INVESTIGACION

DESARROLLO TECNOLÒGICO PARA LA COSECHA DE SARGASSUM SPP. Y RECUPERACIÒN DE MANTOS

Introducciòn

Existe un potencial evaluado de 183 000 toneladas de *Sargassum* spp. en el Golfo de California; en Bahía de La Paz se estimaron 19 800 t (Hernández et al. 1990), en la costa oeste de Bahía Concepción se evaluaron 7 200 t (Casas et al. 1993) y en la costa este del Golfo de California de Mulegé a San Luis Gonzaga se estimaron 154 000 t (Pacheco et al. 1998), las cuales representan un recurso potencial susceptible de un aprovechamiento sustentable, ya que hasta la fecha este recurso no se explota comercialmente. Estudios sobre la composición química de *Sargassum* spp. señalan que es una buena fuente de carbohidratos y minerales (fósforo, sodio, magnesio, potasio, calcio), así como de algunos aminoácidos esenciales (lisina, fenilalanina, tirosina, treonina y triptofano) y ácidos grasos omega 3 y omega 6, también es rico en beta-caroteno y vitaminas, y no se han detectado factores antinutricios como glúcidos cianogénicos, saponinas, alcaloides y la contribución del ácido tánico es sumamente baja por lo que no representa ningún riesgo (Manzano y Rosales 1989; Carrillo et al. 1992, 2002; Llamo 1997, Casas et al. 2002) por lo que ha sido recomendado para la alimentación humana y animal. Otros componentes importantes son los alginatos, cuya concentración varía de 7 a 17 % (Pérez, 1997), el fucoïdan (4.6%) y el manitol (3.6%) (Casas et al. 2002). Debido al bajo contenido de lípidos y a la presencia de anti-oxidantes naturales, estas algas son menos susceptibles de rancidez por lo que pueden ser almacenadas por largos períodos de tiempo (Marín et al. 2003). La harina de *Sargassum* spp. ha sido incluida en dietas para gallinas de postura, encontrándose que mejora la calidad del huevo: se obtiene mayor altura de la albúmina, aumenta del contenido de proteínas y el peso, menor contenido de lípidos (Rodríguez et al. 1995; Meza 1996), disminuye la concentración de colesterol e incrementa la concentración de los ácidos grasos omega 3 y omega 6 (Carrillo et al. 1998). Respecto al uso de *Sargassum* en dietas para ganado, Gojón et al. (1998) midieron la digestibilidad de esta alga en rumen de ganado bovino obteniendo un valor de 55 %, mientras que la degradabilidad *in vitro* fue de 95 %, por lo que consideran que las proteínas pueden funcionar como proteínas de sobrepaso que son digeridas en el abomaso. Marín (1999) determinó que la digestibilidad *in vivo* varió de 75 a 78% en ovejas alimentadas con 10%, 20% y 30% de *Sargassum* spp., la desaparición de materia seca a las 72 horas fluctuó entre 66 y 67 %. Casas et al. 2006a demostraron que puede ser incorporada en un 25% a la dieta de ganado caprino, mientras que en el alimento balanceado para camarón puede ser incorporada en un 4% (Casas et al. 2006b).

Los anteriores resultados fueron la base para plantear el aprovechamiento sustentable de esta alga en el Golfo de California, para lo cual se hace necesario conocer cuales son los volúmenes cosechables de esta alga, su capacidad de regeneración y desarrollar la tecnología para su cosecha, secado y molienda. Por lo que el presente proyecto se planteo los siguientes objetivos:

Objetivo: Determinar los rendimientos de cosecha y la capacidad de recuperación de los mantos de *Sargassum* spp.

Objetivos específicos:

1. Determinar los rendimientos de cosecha de *Sargassum* que se pueden obtener en mantos de la Bahía de La Paz, B. C. S., utilizando diferentes prototipos de cosecha.
2. Determinar la capacidad de regeneración de los mantos de *Sargassum*, en mantos representativos de La Bahía de La Paz, B. C. S.

Metodología

Regeneración. La tasa de recuperación de los mantos de *Sargassum* spp., se estimó a partir de tres mantos modelo ubicados en la Bahía de La Paz, los cuales presentaban grandes dimensiones y una alta densidad : Tarabillas, San Juan de la Costa y Califin. Cada uno de ellos se dividió en dos áreas: una testigo que no se cosecho y otra que se sometió a cosecha, en ambas se determino la biomasa promedio, su superficie y cosecha estimada. Al siguiente año en la época de mayor abundancia (abril-junio), se volvieron a medir estos tres mantos, para determinar su superficie, biomasa promedio y cosecha estimada, siguiendo la metodología descrita anteriormente. Se compararon las dimensiones de las dos secciones de los mantos, las biomاسas promedio y la cosecha estimada en ambos años.

Composición específica y Estructura de Tallas. Adicionalmente, se obtuvieron sub-muestras de las muestras de biomasa, las cuales se guardaron para determinar la composición específica de los mantos y de cada especie se seleccionaron 50 individuos a los cuales se les determinó su longitud total con una cinta métrica con precisión de milímetros.

Estimación de la Biomasa Cosechable

Ubicación de los mantos. Para elaborar el mapa de distribución de los mantos de *Sargassum* spp., se procedió a realizar un recorrido a todo lo largo de la costa durante la época de mayor abundancia del recurso (abril-junio), una vez ubicado cada manto se obtuvo su localización geográfica mediante el uso de un GPS.

Estimación de áreas. Con objeto de determinar el área de cada uno de los mantos, se realizaron mediciones del largo y ancho de cada uno de ellos,

mediante el uso de GPS. Para lograr estimaciones más precisas y de menor costo, los mantos se agruparon en tres tipos de acuerdo a los criterios de Hernández et al. (1990) y Casas et al. (1993): mantos chicos, aquellos que median menos de 500 m; mantos medianos entre 501 y 1 500 m y mantos grandes los que tuvieron una longitud mayor a 1 501 m. El largo de cada manto se determinó siguiendo el contorno del mismo a lo largo de toda la línea de costa. De acuerdo a los criterios de Hernández et al. (1990) y Casas et al. (1993), la distancia máxima a la cual se realizó la medición del ancho de los mantos, sin exceder un error al 10 %, fue de cada 50 m para mantos chicos, para los medianos cada 100 m y para los grandes cada 200 m. Con los datos de largo y ancho se dibujó el perímetro de cada manto, y mediante el Programa computacional Matlab se calculó el área cubierta por cada manto.

Estimación de Biomasa y Biomasa cosechable. La biomasa (kg/m^2) de cada uno de los mantos se obtuvo promediando el peso de las algas contenidas en cada unidad de muestreo. Se utilizó como unidad de muestreo un cuadrado de 1 metro por lado, el cual se colocó en el fondo, recolectándose manualmente todas las algas contenidas en el, estas se colocaron en una bolsa de malla para posteriormente obtener su peso húmedo. La localización de los puntos de muestreo en cada manto fue al azar, el número dependió del tamaño del manto: en los mantos chicos se obtuvieron 10 cuadrantes, en los medianos 15 y en los grandes 20. Para el cálculo de la biomasa total o cosecha se multiplicó el área de cada manto por el valor de biomasa promedio obtenida.

Resultados

1. Regeneración

Los resultados obtenidos para determinar la capacidad de regeneración de los mantos de *Sargassum* spp. en mantos representativos de la Bahía de La Paz, B. C. S. fueron los siguientes:

La biomasa obtenida por cuadrante para los mantos Califin y Tarabillas en 2007 fue mayor que la encontrada en el año anterior (2006), tanto para las áreas que se cosecharon como para las que no se sometieron a cosecha (Tabla 1). En San Juan de la Costa se encontró una menor biomasa solamente en el área que no fue cosechada previamente por lo que la disminución de la biomasa no podría atribuirse al disturbio ocasionado por la cosecha.

Tabla 1. Valores de biomasa promedio para los mantos sometidos a cosecha y no cosechados en el 2006 y su comparación en 2007

Manto	2006		2007	
	Cosechado	No Cosechado	Cosechado	No Cosechado
Califin	4.05	3.18	4.92	5.26
San Juan de la costa	2.14	2.29	2.77	1.68
Tarabillas	3.6	5.5	7.2	6.54

El área cubierta por los mantos Calfin Norte y Calfin Sur fue mayor que en el año anterior (2006) y por lo tanto la biomasa cosechable también fue mayor. En Tarabillas a pesar de que el área cubierta por el manto fue menor en 2007 la biomasa cosechable fue mayor ya que los mantos eran más densos (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación del área cubierta por los mantos y la biomasa cosechable de los mantos cosechados en 2006 y 2007

Manto	2006		2007	
	Área del manto (m ²)	Biomasa Cosechable (Toneladas)	Área del manto (m ²)	Biomasa cosechable (Toneladas)
Calfin Norte	9400	29.89	12800	67.32
Calfin Sur	13050	41.91	30000	147.60
San Juan de la costa	52400	115.80	35570	77.89
Tarabillas	149200	689.30	145660	1048.75

Las figuras 1 a 4 muestran las coberturas de los mantos cosechados en 2006 y 2007.

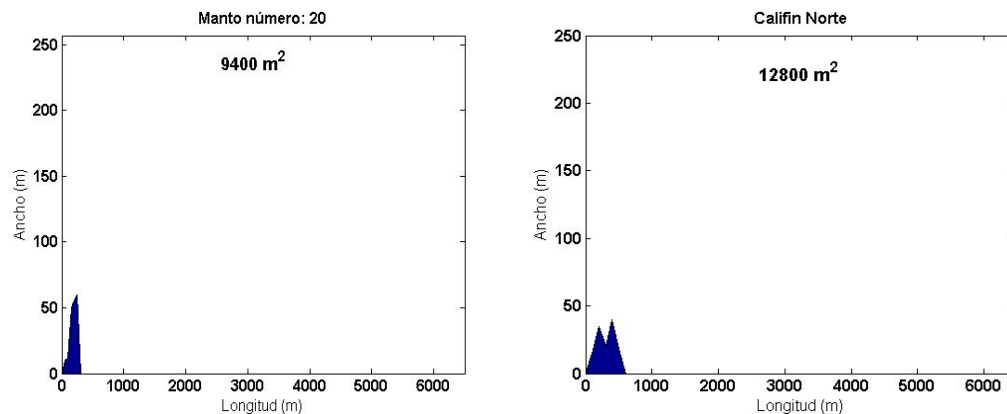


Figura 1. Comparación de la cobertura del manto Calfin Norte (20) en 2006 y 2007

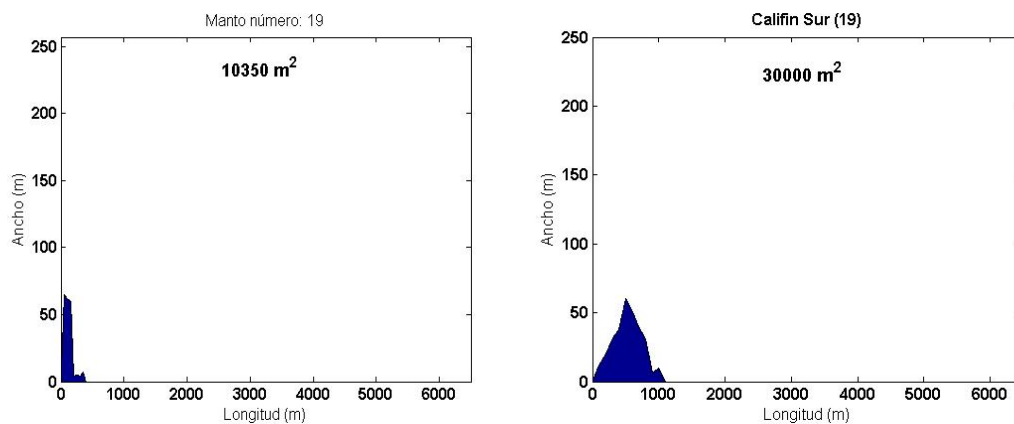


Figura 2. Comparación de la cobertura del manto Calfin Sur (19) en 2006 y 2007

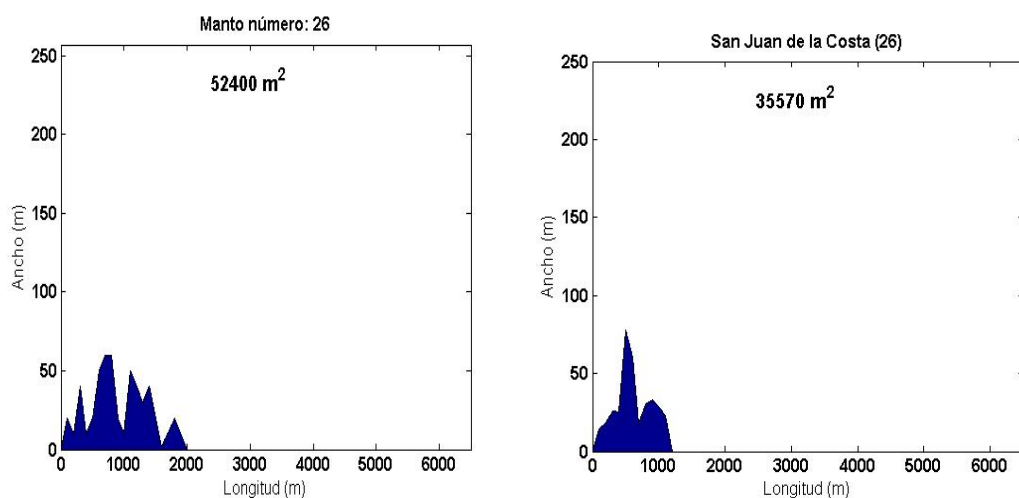


Figura 3. Comparación de la cobertura del manto San Juan de la Costa (26) en 2006 y 2007

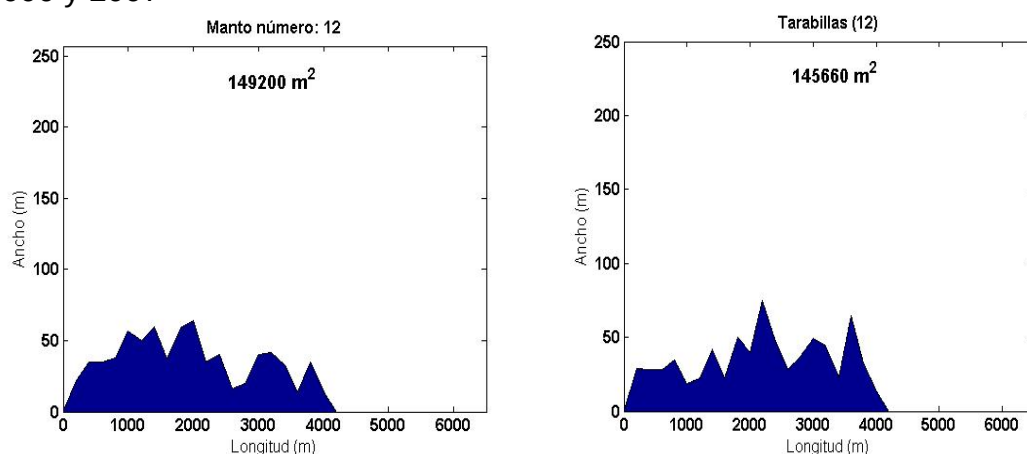


Figura 4. Comparación de la cobertura del manto Tarabillas (12) en 2006 y 2007

Se determinó que la capacidad de regeneración que tuvieron estos mantos fue muy buena y por lo tanto la cosecha no tuvo ningún efecto negativo, ya que para 2007 se obtuvo una biomasa cosechable mayor en tres de los mantos representativos.

2. Composición Específica y Estructura de Tallas de los mantos

En los mantos de la Bahía de La Paz, se identificaron dos especies, *Sargassum sinicola* var. *camouii* (Dawson) Norris & Yensen y *S. lapazeanum* Setchell & Gardner.

Las figuras 5 y 6 muestran la distribución de tallas de los ejemplares de *Sargassum lapazeanum* y *Sargassum sinicola* var. *camouii* respectivamente

Para la primera especie la mayor frecuencia de tallas se encontró entre los 15 y 45 cm, para la segunda fue entre 20 y 75 cm. La talla mínima registrada para ambas especies fue de 9 cm, mientras que la talla máxima fue superior en *S. sinicola* var. *camouii* (190) con respecto a *S. lapazeanum* que fue de 127 cm. En cuanto a proporción de especies *S. sinicola* var. *camouii* representó el 70% con respecto a *S. lapazeanum*.

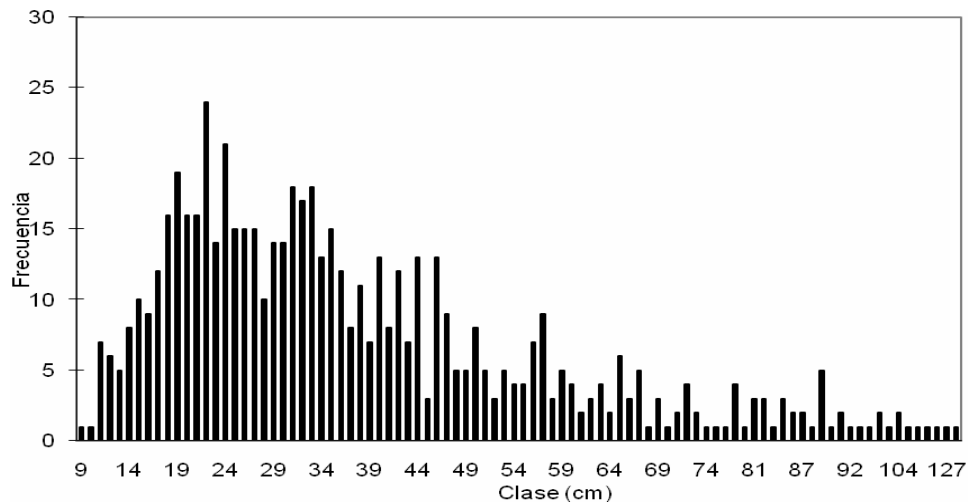


Figura 5. Frecuencia de tallas en ejemplares de *Sargassum lapazeanum* encontrados en la Bahía de la Paz

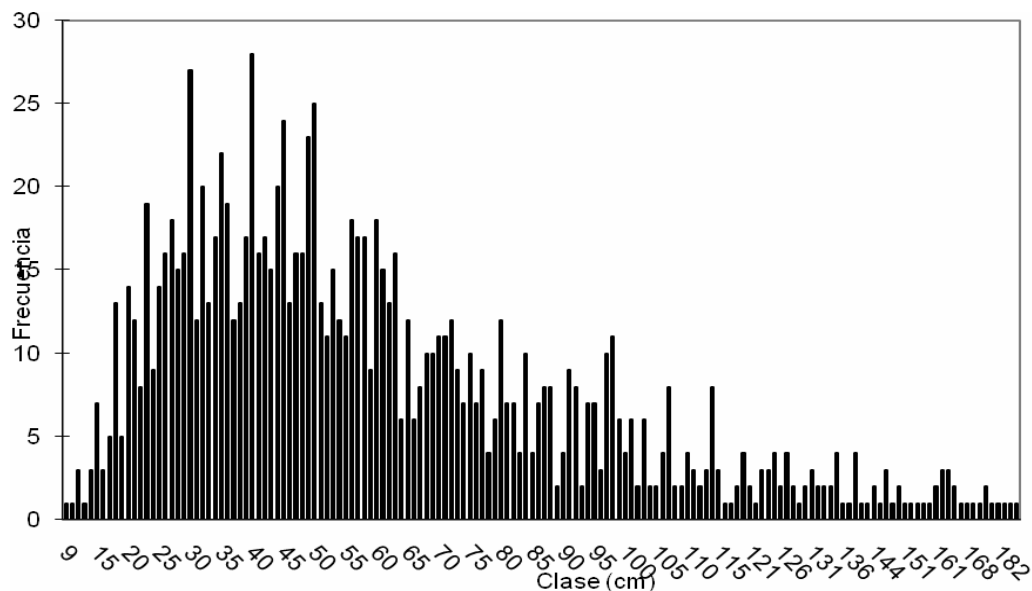


Figura 6. Frecuencia de tallas en ejemplares de *Sargassum sinicola* var. *camouii* encontrados en la Bahía de la Paz.

3. Determinación de la Biomasa Cosechable

a) Ubicación de los mantos

A lo largo de la costa de la Bahía de La Paz, se localizaron 27 mantos de *Sargassum* spp, su ubicación se muestra en la figura 7 (Tabla 3). El mayor número de mantos está localizado en el área comprendida entre Califin y Tarabillas.



Figura 7. Localización de los 27 mantos de *Sargassum* spp. en la Bahía de La Paz, B. C. S.

Tabla 3. Localización geográfica de los 27 mantos evaluados en la Bahía de La Paz, B. C. S.

No. Manto	Nombre Manto	Localidad	Latitud	Longitud	Zona
1	Mechudo	Bahía de La Paz	24° 75'	110° 67'	I
2	Portugues	Bahía de La Paz	24° 74'	110° 68'	I
3	Pta. Coyote Nte.	Bahía de La Paz	24° 70'	110° 69'	I
4	Pta. Coyote Sur	Bahía de La Paz	24° 69'	110° 69'	I
5	Pta. Guano	Bahía de La Paz	24° 56'	110° 73'	I

6	Pta. Guano Sur	Bahía de La Paz	24° 53′	110° 73′	I
7	Arroyo de las animas	Bahía de La Paz	24° 51′	110° .72′	I
8	S/N	Bahía de La Paz	24° 50′	110° 72′	I
9	S/N	Bahía de La Paz	24° 49′	110°.71′	I
10	Tarabillas Nte.	Bahía de La Paz	24° 48′	110° 70′	I
11	Arroyo Tarabillas	Bahía de La Paz	24° 48′	110° 70′	I
12	Tarabillas	Bahía de La Paz	24°45′	110° 68′	I
13	Saladito Nte.	Bahía de La Paz	24° 42′	110° 69′	I
14	Piedra Colorada Sur	Bahía de La Paz	24° 34′	110° 67′	I
15	Sauzoso Nte.	Bahía de La Paz	24° 31′	110° 64′	I
16	Sauzoso Sur	Bahía de La Paz	24° 30′	110° 63′	I
17	S/N	Bahía de La Paz	24° 28′	110° 62′	I
18	S/N	Bahía de La Paz	24° 27′	110° 62′	I
19	Califin Sur	Bahía de La Paz	24° 26′	110° 61′	I
20	Califin Nte.	Bahía de La Paz	24° 27′	110° 61′	I
21	S/N	Bahía de La Paz	24° 25′	110° 61′	I
22	S/N	Bahía de La Paz	24° 30′	110° 21′	I
23	Puerto Mejia	Bahía de La Paz	24° 29′	110° 19′	I
24	Ensenada Coyote	Bahía de La Paz	24° 24′	110° 15′	I
25	Ventana	Bahía de La Paz	24° 04′	109° 98′	I
26	San Juan de la Costa	Bahía de La Paz	24° 37′	110° 68′	I
27	Saladito	Bahía de La Paz	24° 43′	110° 68′	I

b) Estimación de las áreas de los mantos

En la tabla 4 se muestra el área cubierta por cada uno de los 27 mantos de *Sargassum* spp., el manto más pequeño es el de Arroyo Tarabillas de 1170 m², mientras que el manto que presentó la mayor superficie fue el de La Ventana con 468 300 m², destaca también el manto de Tarabillas con 149 200 m².

Tabla 4. Área cubierta de cada uno de los 27 mantos localizados en la Bahía de La Paz, B. C. S.

Manto	Área (m ²)
1 Mechudo	16000
2 Portugués	14500
3 Pta. Coyote N	24000
4 Pta. Coyote Sur	27300
5 Pta. Guano	28000
6 Pta. Guano Sur	15500
7 Arroyo de las animas	19500
8 S/N	5500
9 S/N	12600
10 Tarabillas Nte.	46700
11 Arroyo Tarabillas	1170
12 Tarabillas	149200
13 Saladito Nte.	30000
14 Piedra Colorada Sur	50900

15 Sauzoso Nte.	42100
16 Sauzoso Sur	9400
17 S/N	11700
18 S/N	1320
19 Califin Sur	10350
20 Califin Nte.	9400
21 S/N	3070
24 Islote Blanco	28300
23 Puerto Mejia	13200
22 Ensenada Coyote	54600
25 La Ventana	468300
26 San Juan de la Costa	52400
27 Saladito	23500

c) Estimación de Biomasa y Biomasa cosechable

En los 27 mantos se recolectaron 350 muestras de *Sargassum* spp. de un metro cuadrado. Los valores de biomasa promedio fluctuaron entre un mínimo de 0.29 kg/m² y un máximo de 6.35 kg/m². La biomasa promedio estimada para toda la bahía fue de 3.06 kg/m².

La cosecha se estimó multiplicando el valor de la biomasa promedio por la superficie de cada manto (Tabla 5), se encontraron valores mínimos de cosecha de 4.92 toneladas en el manto 18 y por el contrario contrasta el manto de Tarabillas con 690 toneladas de *Sargassum* spp., también es importante resaltar el manto de La Ventana para el cual se estimó una cosecha de 590 toneladas. La cosecha total estimada para la Bahía de La Paz fue de 2821 toneladas.

Tabla 5. Biomasa cosechable estimada de cada uno de los 27 mantos localizados en la Bahía de La Paz, B. C. S.

Manto	Biomasa Cosechable (Ton)
1 Mechudo	41.28
2 Portugués	62.78
3 Pta. Coyote N	49.44
4 Pta. Coyote Sur	119.57
5 Pta. Guano	110.04
6 Pta. Guano Sur	51.92
7 Arroyo de las animas	75.27
8 S/N	16.50
9 S/N	61.11
10 Tarabillas Nte.	184.93
11 Arroyo Tarabillas	5.67
12 Tarabillas	689.30
13 Saladito Nte.	92.70
14 Piedra Colorada Sur	207.41
15 Sauzoso Nte.	112.82
16 Sauzoso Sur	23.31
17 S/N	37.20
18 S/N	4.92
19 Califin Sur	41.91
20 Califin Nte.	29.89

21 S/N	19.49
24 Islote Blanco	20.94
23 Puerto Mejia	6.99
22 Ensenada Coyote	15.83
25 La Ventana	590.05
26 San Juan de la Costa	115.80
27 Saladito	34.07
Cosecha total (Ton)	2821.23

4. Determinación del Prototipo de Cosecha más Eficiente para la cosecha de *Sargassum* (Se realizó en forma conjunta con ESIME-Azcapotzalco)

Uno de los aspectos que han limitado el desarrollo de la industria de las algas es la falta de métodos adecuados de recolecta. Los métodos para la recolección que se siguen utilizando son los tradicionales de buceo y corte a mano. Aunque para la extracción de algunas algas grandes se han desarrollado embarcaciones especiales; por ejemplo, en México el sargazo gigante se cosecha con una embarcación de 33.5 metros de eslora, con capacidad de 350 toneladas. Debido a la necesidad de aprovechar al máximo los recursos que representan las algas hace falta la tecnificación del proceso de recolección. Este es el caso para el aprovechamiento sustentable de la alga *Sargassum spp.*, en el Golfo de California, cuyos mantos se localizan en aguas próximas a las costas, generalmente sobre fondos rocosos, a profundidades que van entre los 2 y 4 metros. Donde el uso de un barco sargacero comercial resulta impracticable, además del alto costo para su adquisición y operación. La propuesta es la tecnificación de recolección del alga *Sargassum spp.* con el diseño e implementación de una cosechadora electromecánica. En este contexto, el desarrollo de esta cosechadora tuvo como objetivo generar tecnología propia en el dominio de diseño y construcción de una embarcación para la recolección de este tipo de algas, a través de la implementación de una cosechadora del alga *Sargassum spp.* como parte importante para su uso económico.

Para diseñar y construir el prototipo de cosechadora se consideraron los siguientes aspectos, debe:

1. Estar dotada de movimiento para ir al encuentro del alga, por lo que estará asociada a un vehículo susceptible de navegar siguiendo la franja costera.
2. Tener la capacidad de llevar la herramienta de corte hasta la profundidad de segmentación óptima (subir y bajar), en concordancia con la pendiente del lecho marino.
3. Realizar la recolección del segmento de las algas que no quede fijo al sustrato (objeto de la máquina).

Para su óptimo funcionamiento, la máquina cosechadora consta de cuatro subsistemas:

1. De corte (que es el subsistema principal del conjunto). Cabe aclarar que el alga flota una vez cortada.
2. De elevación, que es el que permite un movimiento en dirección vertical y en ambos sentidos para permitir a la herramienta de corte posicionarse en el sitio donde la segmentación deberá llevarse a cabo.
3. De locomoción, que es el que le permitirá a todo el sistema un movimiento en el plano que describe la superficie de la masa de agua marina directamente encima de los mantos del alga.
4. De recolección, para recuperar el alga cortada.

Ahora bien, para realizar el corte, se detecto que era necesario dotar de movimiento al (los) instrumento(s) de corte. Como se menciona anteriormente el subsistema más importante es la herramienta de corte, misma que había que definir antes de pasar a definir e instrumentar los otros subsistemas.

Corte:

Las herramientas ensayadas, se pueden dividir en dos grandes categorías:

1. Simpleactantes (tipo navaja).
2. Dobleactantes (tipo tijera).

1. En la primera categoría se utilizaron dos máquinas.

1.1 Rastra Metálica (la primera y más simple) consistía en una rastra metálica, a la que el movimiento se lo proporcionaba el vehículo de arrastre.

A dicha rastra se le implementaron dos diferentes cuchillas para el corte del alga, uno consistía en una barra con picos hacia arriba y la otra la cuchilla tenía unas pequeñas ranuras y era muy filosa; estas cuchillas se colocaron en la base de una rastra que tiene dos tubos mediante los cuales se le imprime el movimiento que se menciona párrafos atrás. **Resultados:** Se hicieron pruebas utilizando las dos cuchillas intercambiables de la rastra, pero éstas fueron negativas en ambos casos, tanto porque como el sustrato sobre el que crece el alga, es decir las piedras tienen tamaños muy diversos, unas son pequeñas, otras son más grandes, etc., lo cual dificultó el avance de dicha rastra y por otra parte las cuchillas no cortaban el alga, al paso de la rastra las algas solamente eran aplanadas sobre su propio sustrato.

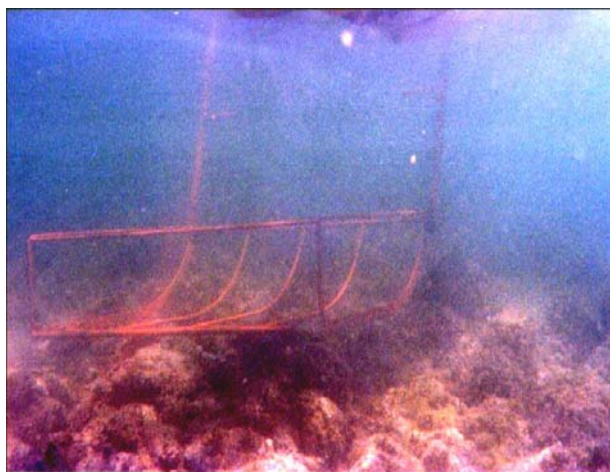


Figura 8. Prueba de funcionamiento de la Rastra Metàlica

1.2 Sistema cortador de cuchillas (machetes). Es la segunda más simple de las herramientas de corte propuestas.

Consta de un árbol hueco con una camisa que lo protege y que le proporciona un punto de apoyo (rodamiento), en el extremo inferior, lugar donde se colocaron dos machetes unidos a 180° con una envergadura de un metro, estos fueron afilados por el lomo para forzar con la curvatura al alga a quedarse, con eso se consigue poner el par torsor a un metro por debajo de la línea de flotación de la lancha. Este mecanismo se acopló al motor para que las espas giraran y realizaran el corte del alga. **Resultados:** Dado que el alga tiende a flotar, pero no lo hace en cuanto es cortada, sino que le toma unos minutos hacerlo, este fenómeno provocó que el material orgánico recién cortado se quede encima de las cuchillas y le imponga un tremendo trabajo extra, lo que ocasiona que el mecanismo se “empropele” y no pueda seguir girando. Por lo que este prototipo fue descartado como opción viable para cosechar *Sargassum*.



Figura 9. Prueba de funcionamiento del Sistema Cortador de Cuchillas

2. En la segunda categoría se utilizaron dos máquinas, la segunda de las cuales tuvo dos vertientes.

2.1 Cuchillas a Contragiro. Estas cuchillas, giran en sentido opuesto una de la otra y su geometría es tal, que atrapan el alga entre ellas e inevitablemente la cortan, son tres pares cuchillas accionadas por un motor de gasolina. **Resultados:** Se presenta el mismo fenómeno que con el prototipo anterior, es decir las algas atorán el mecanismo de corte, por otra parte la construcción es compleja y se requieren muchos cuidados.

2.2 Peines afilados con movimiento relativo recíproco.

Esta herramienta de corte, consta de un peine fijo de dientes relativamente grandes acoplado a otro peine al que se le proporciona movimiento relativo, este segundo peine tiene un diente menos para que el recorrido sea de un diente completo esto se consigue con un mecanismo biela manivela, para convertir el movimiento rotatorio del motor en movimiento lineal (recíproco). Se probaron dos tipos de herramienta.

2.2.1 Un primer prototipo de los arriba mencionados consiste de una cortadora del tipo “corta setos” lo suficientemente resistente para operar en el medio acuoso, para ello al final se le dio un baño con pintura electrostática con el propósito de prevenir la corrosión por el medio ambiente marino. **Resultados:** El prototipo cortadora tipo peine de movimiento recíproco, demostró que funciona adecuadamente para el corte del alga, no presentó superficies donde se enredara el alga por encima de la línea de corte, y debido a que sólo el peine superior se mueve, se puede desembarazar de aquellas plantas que no floten de inmediato.



Figura 10. Prueba de funcionamiento del prototipo de Peines afilados con movimiento relativo recíproco

2.2.2 Cosechadora electromecánica. Esta segunda herramienta de corte consiste de una barra de corte con 19 pares de navajas tipo triangular y de un ancho total de 1.20 m, así como de una caja de engranes que convierte el movimiento rotacional a movimiento de línea. Esta herramienta es accionada por un motor eléctrico a prueba de agua. La selección de esta herramienta y motor es el resultado de diversas pruebas *in situ* de varias alternativas consideradas.

Para posicionar la barra de corte se diseñó un mecanismo basado en cremalleras para desplazarse hasta 2 m y alcanzar la profundidad deseada. El mecanismo es accionado por un motor reductor eléctrico. Con base en los requerimientos y las características de flotabilidad y físicas del alga *Sargassum spp* se seleccionó una banda transportadora de lazo cerrado con dos contenedores en un extremo para recuperar las algas cortadas. Esta banda transportadora es accionada por un motor reductor eléctrico.

La configuración del sistema consiste de la unidad de corte que los conforman los componentes de las funciones de corte y posicionamiento, una unidad de recolección con los componentes de recolección y una unidad de navegación conformada por dos flotadores con la capacidad flotabilidad y de carga de los componentes. Para la propulsión de la cosechadora se propuso que esta sea realizada por el empuje de una lancha, la cual también servirá como contenedor del producto recolectado.

Los resultados obtenidos durante la operación experimental de la cosechadora, mostraron la viabilidad de la tecnificación para el proceso de cosecha de alga *Sargassum spp.* Se observó un desempeño aproximado 7 000 kg/hr en la recolección de alga, lo cual representa una significativa efectividad con respecto al esquema de buceo y corte manual. De acuerdo con los resultados observados, se puede plantear que la cosechadora es una herramienta práctica para la cosecha de este tipo de algas.

La operación del prototipo de la cosechadora electromecánica en las costas del Golfo de California, permite concluir que se trata de una herramienta propia que puede incorporarse de manera natural al sector industrial, al tiempo que constituye un desarrollo tecnológico de alta factibilidad en el mercado.

El estudio de susceptibilidad de patentamiento de la cosechadora electromecánica para el alga *Sargassum*, concluyo que es viable patentar la herramienta de corte, así como su método de utilización desde una estructura flotante.

5. Determinación del método de secado de *Sargassum* más eficiente

El secado como método de preservación industrial es ampliamente utilizado para disminuir la cantidad de agua de los productos y de esta forma se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan reacciones de degradación en el almacenamiento a temperatura ambiente. Dentro de los sistemas de secado, un método óptimo, es aquel que aprovecha la energía solar y la psicrometría del aire local. Por lo que en este proyecto se definió un método de secado al sol del alga *Sargassum spp* que resulto eficiente tanto en tiempo como en costo.

En una primera etapa del estudio se realizaron experimentos para conocer la velocidad de secado de *Sargassum spp.* y estimar el tiempo óptimo de secado en diferentes superficies de secado, así como dimensionar el área de secado solar directa necesaria para secar una tonelada de alga húmeda. Para lo cual se diseñaron tres tipos de experimentos: 1) secado sobre base de plástico con perforaciones, 2) secado sobre una plancha de cemento y 3) secado sobre piedra. Los experimentos se realizaron con colchones de aproximadamente 30 kg de alga húmeda de 10 cm de grosor en todos los casos. El proceso de secado se llevó a cabo durante 3 días, durante los cuales se registró el cambio en el contenido de humedad relativa con respecto al tiempo de secado de 10 muestras del alga. Para cada uno de los diferentes procesos de secado se realizaron los cálculos del área necesaria para secar una tonelada de alga húmeda. De los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que la base de secado más eficiente fue la de piedra, ya que permitió una mayor filtración del agua hacia el suelo y menor contacto del alga con la arena, con una mayor rapidez en el secado, obteniendo un producto final con un 6.72% de humedad a las 56 horas de secado. Con este proceso de secado la superficie requerida para secar una tonelada del alga es de 32.8 m².

En esta misma etapa y con la finalidad de incrementar la eficiencia del secado aprovechando la energía solar y eólica, se diseñó un prototipo de secado que consistió en una base de madera con red y dos estructuras con placas acrílicas colocadas a 45° (135° de la base de madera), tomando en cuenta que el ángulo azimutal (azimuth) de la luz solar es a las 13:10 horas, en la cual los rayos solares inciden perpendicularmente en la zona del experimento, con esta coordenada se aprovecha el máximo de radiación solar diaria, además de que el diseño permite un mayor contacto con el aire. Para probar este prototipo y compararlo con el secado en base de piedra se realizaron tres experimentos: 1) secado de algas tanto en la base de red como en base de piedra con las placas acrílicas y muestras aisladas, 2) secado del alga con una noche de remojo y recién cosechado, y 3) secado del alga sin lavar las muestras en base de red y base de piedra. Estos experimentos indicaron que tener las muestras del alga aisladas no permitió llevar un seguimiento adecuado de los resultados y por otro lado dejar el alga en remojo durante una noche aumenta considerablemente el porcentaje de humedad y el proceso de secado se vuelve ineficiente. Los mejores resultados se obtuvieron con la base de madera con red y espejos acrílicos, en donde el proceso de secado se aceleró significativamente y se consiguió secar casi 70 kg de alga húmeda en sólo 10 horas, esto vuelve al proceso 5 veces más eficiente, aunque incrementa los costos.

La segunda etapa del proceso de secado de *Sargassum* spp., tuvo como objetivo estudiar el proceso de secado al sol del alga para obtener un producto seco de calidad comercial. Los experimentos se llevaron a cabo en el lugar donde el alga fue cosechada para evitar fluctuaciones en la medición de la humedad inicial, pérdida de tiempo por transporte y reducción de costos. Para establecer el método óptimo de secado del alga se realizaron dos experimentos con diferentes prototipos de secado: 1) Prototipo de base con malla-red y placas de espejos acrílicos y 2) Prototipo de base de piedra con placas de espejos acrílicos. En esta segunda etapa del proyecto, con la finalidad de incrementar el área de concentración solar, se cambió el sistema fijo de las placas con espejos acrílicos, a un sistema donde cada espejo presentó movimiento independiente que permite realizar dos tipos de arreglos; sistema alineado este-oeste o sistema con mínimos ajustes periódicos de traqueo solar. Para ambos prototipos, los experimentos se realizaron por triplicado colocando sobre la base 34 kg de alga húmeda, tratando de distribuirla en una capa lo más homogénea posible. Se seleccionaron 10 puntos de muestreo en la cama. El proceso de secado se llevó a cabo durante ocho horas (de 10:00 a 18:00 hrs), cada hora se realizaron registros del peso de las frondas seleccionadas, para medir la pérdida de agua y humedad de la fronda. Al término del experimento cada una de las muestras fueron colocadas en un horno de convección para eliminar por completo el agua y obtener el peso seco de la muestra, con estos datos se calculó la humedad relativa de la muestra expresada como g agua/g. Los resultados indicaron que el método de secado en la base de malla red resultó ser el más eficiente, logrando el secado de 34 kilos húmedos en 7 horas, con un porcentaje de agua del 12 % y una humedad relativa de 0.25 g agua/g. Para secar una tonelada de alga con este método se requiere de una superficie de 58 m², lo que representaría 29 bases de malla-

red. Cabe aclarar que aunque este método es el más eficiente, también representa un método que implica un mayor costo.

Durante el experimento la única manipulación que se realizó con las algas fue para sacar la muestra, pero se recomienda que para acelerar el tiempo de secado, se podría dar una vuelta a la cama de algas a la mitad del tiempo de secado.

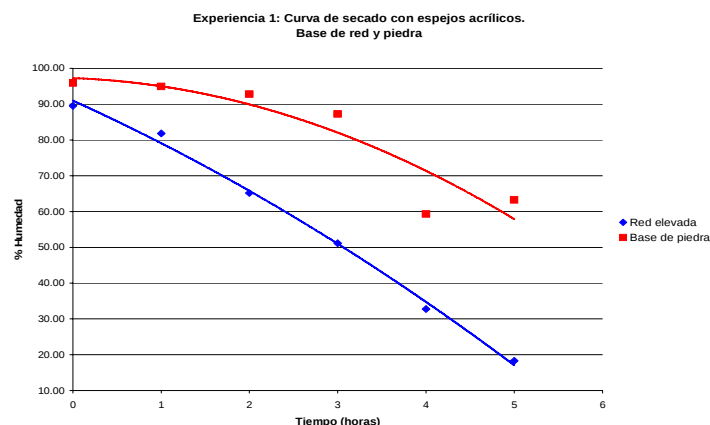


Figura 11. Curvas de secado en base de red y de piedra con espejos acrílicos.



Figura 12. Secado sobre base de piedra con el uso de espejos de acrílico

6. Molienda

El proceso para la molienda del alga *Sargassum* spp. es muy sencillo, una vez que las algas han sido secadas al sol, ya sea sobre una cama de piedra, una base de cemento o bien sobre una cama de red, estas son colocadas en costales o bien se manejan en greña para trasladarlas al área de molienda, ahí se muelen con un molino de martillos con bajante tipo fijo con ventilador, el cual fue accionado por un motor monofásico de 5 H. P, el tamaño del molino y la capacidad del motor dependen del volumen de algas que se quiera moler por hora. Se utiliza una criba de 30 mallas (600 μ), con la cual se obtienen partículas del alga de 0.6 mm. Una vez concluida la molienda, las algas son colocadas en costales, lo que facilita su almacenamiento.

7. Conclusiones

1. Los resultados obtenidos en la evaluación de 27 mantos, permiten reafirmar que en la costa de la Bahía de La Paz, existe un potencial de *Sargassum* spp., el cual es susceptible de un aprovechamiento sustentable.
2. Respecto a las especies que constituyen los mantos, en Bahía de La Paz, el 70% de la biomasa fue de *S. sinicola* var. *camouii* y el 30% fue *S. lapazeanum*.
3. Se diseño y construyo un prototipo de una cosechadora electromecánica para *Sargassum*, el cual tiene un rendimiento de 7 toneladas por hora, es una herramienta propia que puede incorporarse de manera natural al sector industrial, al mismo tiempo que constituye un desarrollo tecnológico de alta factibilidad en el mercado. Dicha cosechadora es amigable con el medio ambiente, ya que su sistema de corte permite que el corte del alga se realice 20 cm por arriba de rizoide, de manera que no se afectan los estolones y tampoco los caolines que son las estructuras de reproducción asexual, además de que el corte es limpio, por lo que no se disturba el substrato sobre el que crece el alga.
4. Se estudió la capacidad de regeneración de los mantos para ver si la cosecha tiene efecto negativo sobre la biomasa y dimensiones de los mantos en comparación con mantos que no fueron sujetos a cosecha, encontrándose que no hay un efecto negativo.
5. Se definió el proceso de secado para dicha alga, este se realiza sobre una superficie de piedras o bien sobre una malla de red y se aprovecha la energía solar y eólica, con lo cual se reduce su volumen y peso, lo que determina una reducción importante de los costos de almacenamiento y transporte.
6. Para la molienda del alga se seleccionó un molino de cuchillas con una criba de 30 mallas (600 μ), el tamaño del molino y la capacidad del motor dependerá del volumen de algas que se desea moler por hora.
7. Se cuenta con la tecnología para la cosecha, secado y molienda para la explotación comercial de esta alga.

8. Impacto de su cosecha

En comunidades rurales y costeras

El aprovechamiento sustentable de este recurso traerá beneficios económicos y sociales: a) para los pescadores ribereños (libres o asociados en Cooperativas Pesqueras) asentados a lo largo de las costas del Golfo de California donde se distribuye esta alga, ya que ellos participarían directamente en la cosecha, secado y molienda de la misma, lo que les representaría generación de empleos y captación de ingresos para beneficio de sus familias.

Se estimó la población que potencialmente trabajaría en la cosecha y secado de *Sargassum* spp., para lo cual se consideraron los poblados localizados dentro de una distancia de treinta kilómetros de separación de la costa este de Baja California Sur (exceptuando el Municipio de Los Cabos) y la población masculina mayor a 18 años, se estimó que la población que se podría dedicar a esta actividad es de 7 345, asimismo se realizaron encuestas para determinar la disponibilidad de dichos pobladores para participar en esta actividad (Martínez de la Torre 2007).

Para el Sector primario

Para los ganaderos

En la región noroeste del país que comprende los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, donde se tiene una producción actual de 197 147 toneladas de carne de bovino (14 % de la producción nacional) y 30 046 de carne de caprino (13 % de la producción nacional), se presentan sequías cíclicas que ocasionan una disminución significativa en los forrajes de agostadero y por ende cuantiosas pérdidas en los hatos ganaderos, llegándose a declarar zonas de desastre ganadero. Esto ha creado la necesidad de buscar fuentes alternas de forrajes que permitan mantener al ganado durante las duras épocas de sequía y que favorezcan la productividad de este ganado en la región. No obstante este problema, la vocación de las tierras de la región para agostadero facilita la cría de ganado menor, por lo que es factible un crecimiento de la población actual de ganado caprino (Genin & Pijoan 1993).

Dentro de las políticas gubernamentales se reconoce la reconversión del uso de los agostaderos para ganado caprino, y se están llevando acciones como el otorgamiento de apoyos financieros a través de FIRA, etc., para el logro de esta política. Particularmente en Baja California Sur, la Unión de Ganaderos ha expresado en diversos foros su grave problemática de falta de forrajes en las épocas de sequía y su interés en incrementar y optimizar los hatos ganaderos caprinos y ovinos. Por lo que la harina de *Sargassum*, representa un forraje alternativo no convencional para ganado bovino, caprino y ovino, el cual puede ser utilizado durante las épocas de sequía cíclicas a un menor costo.

Para el Sector Secundario

Para las empresas que elaboran alimentos balanceados

Las empresas que elaboran alimentos balanceados para camarón, tendrían acceso a un insumo local no convencional que incrementaría el valor nutricional de sus formulaciones, además de ofrecer al consumidor un producto con valor agregado ya que la harina del alga *Sargassum* contribuye a mejorar la calidad sanitaria del camarón, pues contienen antibióticos y fucoídina, así como esteroides que disminuyen el contenido de colesterol (Takahashi et al. 1998; Nishide & Uchida 2003; Casas et al. 2006b) con el consiguiente beneficio económico.

Las empresas que elaboran alimentos balanceados para rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos), tendrían acceso a un insumo no convencional que les permitiría formular dietas a un menor costo.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro mayor agradecimiento a las personas que a continuación se relacionan por el invaluable apoyo brindado para la realización de este proyecto, su colaboración permitió que se cumplieran satisfactoriamente todas las metas comprometidas en el presente proyecto.

Sr. Jorge Cobos Anaya, Sr. Ramón Altamirano Cobos, Sr. Rene Octavio Gaxiola Marques, Sr. Juan Mandujano, Francisco Aguillón León, Carlos Soto Carrasco, Julio Reyes García y Alfonso Álvarez Casillas, Técnicos de los Talleres de Mantenimiento Electromecánico, Maquinado e Instalaciones, del CIBNOR. Enrique Calvillo Espinoza, Técnico del CIBNOR.

Sr. Martín Cuevas Higuera, Sr. Efraín Flores Montaña, Pablo Simental Sigala, Alfredo Miramontes Hernández, José Borgues Souza, Manuel Zamarrón Núñez, Jesús Espinoza Álvarez, Javier, Javier Álvarez Espinoza y Ciro Arista de la Rosa, lancheros, chóferes, buzo y técnicos de CICIMAR-IPN.

BIBLIOGRAFIA

- Carrillo, D. S., M. I. Castro, F. Pérez-Gil, E. Rosales & R. E. Manzano. 1992. The seaweed (*Sargassum sinicola* Setchel & Gardner) as an alternative for animal feeding. Cuban J. Agric. Sci., 26: 177-181.
- Carrillo, D. S., F. Pérez-Gil, E. Avila, M. Carranco, R. M. Castillo, M. Casas & J. Lecumberri. 1998. Cholesterol content in eggs from laying hens fed *Sargassum sinicola* and *Ulva lactuca* seaweeds. XVI th International Seaweed Symposium. April 12-17, 1998. Cebú City, Philippines. p. 65.
- Carrillo, D. S., M. Casas, R. Ramos, F. Pérez-Gil & I. Sánchez. 2002. Algas marinas de Baja California Sur, México: Valor nutrimental. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 52 (4): 400-405.
- Casas, V. M., Sánchez I. & G. Hernández. 1993. Evaluación de *Sargassum* spp. en la costa oeste de Bahía Concepción, B. C. S., México. Inv. Mar. CICIMAR, 8 (2): 61-68.
- Casas Valdez, M., C. Hernández, R. Aguila, B. González, A. Marín, S. Rodríguez, S. Carrillo, F. Pérez-Gil, E. Cruz, M. Rique & M. Tapia. 2002. *Sargassum* spp. como fuente potencial de alimento para camarón. Informe Técnico Final CGPI. Instituto Politécnico Nacional, 34 p.

- Casas Valdez, M., H. Hernández Contreras, A. Marín Álvarez, R. N. Aguila Ramírez, C. J. Hernández Guerrero, I. Sánchez Rodríguez & S. Carrillo Domínguez. 2006a. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa en la alimentación de ganado caprino. *Revista de Biología Tropical*, 54: 83-92.
- Casas Valdez, M., G. Portillo Clark, N. Aguila Ramírez, S. Rodríguez Astudillo, I. Sánchez Rodríguez & S. Carrillo Domínguez. 2006b. Efecto del alga marina *Sargassum* spp. sobre las variables productivas y la concentración de colesterol en el camarón café, *Farfantepenaeus californiensis* (Colmes, 1900). *Revista de Biología Marina y Oceanología*, 41 (1): 97-105.
- Genin, D. & A. P. Piojan. 1993. Seasonality of goat diet and plant acceptabilities in the coastal scrub of Baja California, México. *Small Rum. Res.*, 10 (1): 1-11.
- Gojón, B. H. H., D. A. Siqueiros & H. Hernández. 1998. *In situ* ruminal digestibility and degradability of *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. in bovine livestock. *Cienc. Mar.*, 24: 463-481.
- Hernández, C. G., M. Casas V., M. C. Fajardo L., I. Sánchez, M. E. Rodríguez. 1990. Evaluación de *Sargassum* spp. en la Bahía de la Paz, B. C. S., México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5 (1): 11-18.
- Llamo, S. J. M. 1997. Determinación del contenido vitamínico en tres especies de algas marinas, *Ulva lactuca*, *Sargassum sinicola* y *Macrocystis pyrifera*. Tesis Profesional. Universidad Simón Bolívar. México, 55 p.
- Manzano, M. R. & G. E. Rosales. 1989. Aprovechamiento de las algas marinas *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum sinicola* en la alimentación humana y animal. Tesis Profesional. Facultad de Química. Universidad La Salle. México, D. F., 106 p.
- Marín Álvarez, A. 1999. Utilización del alga *Sargassum* spp. como complemento alimenticio de mantenimiento en dietas de ganado ovino. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. La Paz, B.C.S., México, 86 p.
- Marín, A., M. Casas, S. Carrillo, H. Hernández & A. Monroy. 2003. Performance of sheep rations with *Sargassum* spp. sea algae. *Cuban J. of Agric. Sci.*, 37: 119-123.
- Martínez de la Torre, J. A. 2007. Estudio de la población que potencialmente trabajaría en la cosecha, secado y molienda de *Sargassum* spp. Informe Técnico, 20 p.

- Meza, A. M. L., S. Carrillo D., F. Pérez-Gil, E. Avila G. & M. Casas V. 1996. Albumen quality in eggs from hens fed rations containing marine algae. Proceedings of the forty fifth Western Poultry Disease Conference, 1-5 de Mayo de 1996, Cancún, México, pp. 404-405.
- Nishide, E. & N. Uchida. 2003. Effects of *Ulva* powder on the ingestion and excretion of cholesterol in rats, pp. 165-168. In: Proceedings of the 17th International Seaweeds Symposium. Cape Town. Oxford University Press.
- Pacheco, R. I., J. Zertuche, G. A. Chee & R. B. Blanco. 1998. Distribution and Quantification of *Sargassum* beds along the west coast of the Gulf of California, México. *Botanica Marina*, 41: 203-208.
- Pérez, R. C. 1997. Composición química de *Sargassum* spp. colectado en la Bahía de la Paz, B. C. S. y la factibilidad de su aprovechamiento en forma directa o como fuente de alginato. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. I.P.N., 76 p.
- Rodríguez B.M., Carrillo D.S., Pérez-Gil R.F., Ávila G.E. y Casas V.M. (1995). "Efecto sobre la calidad del huevo y cascara al incluir las algas marinas *Sargassum sinicola* y *Ulva lactuca* en raciones para ponedoras". Memorias XX convencion de la Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas, 3-7 de mayo de 1995. ANECA. Acapulco, Guerrero, Mexico, pags. 291-297.
- Takahashi, Y., K. Uehra, R. Watanabe, T. Okamura, T. Yamashita, Omurah, T. Kawano, A. Kanemitsu, H. Naraska, N. Susuki & T. Itami. 1998. Efficacy of oral administration of fucoidan, a sulphated polysaccharide, in controlling white spot syndrome in kumura shrimp in Japan. In: Flegel T.W. (ed). *Advances in shrimp biotechnology*. National Center of Genetic Engineering and Biotechnology, Bangkok.