



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

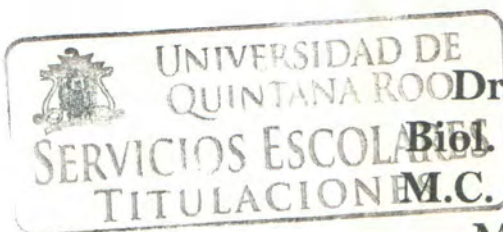
**Aprovechamiento y potencial de producción de
alginato de sodio con algas procedentes de la Costa
Maya de Quintana Roo**

TESIS
Para obtener el grado de
Ingeniero Ambiental

PRESENTA
**Abraham Gabriel Buenfil Milán
Leonel Arturo Ramos Meza**

DIRECTOR DE TESIS
M.I.A. Juan Carlos Avila Reveles

ASESORES
**Dr. Víctor Hugo Delgado Blas
Biol. Laura Patricia Flores Castillo
M.C. José Martín Rivero Rodríguez
M.E.S. Roberto Acosta Olea**



Chetumal Quintana Roo, México, Junio de 2014



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL

Comité de Trabajo de Tesis

Director:


M.I.A. Juan Carlos Avila Reveles

Asesor propietario:


Dr. Víctor Hugo Delgado Blas

Asesor propietario:

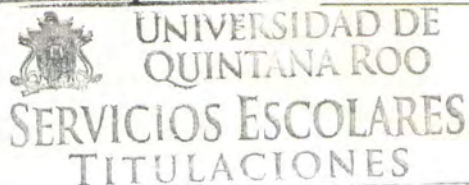
la Pts
Biol. Laura Patricia Flores Castillo

Asesor suplente:


M.C. José Martín Rivero Rodríguez

Asesor suplente:


M.E.S. Roberto Acosta Olea



Chetumal, Quintana Roo, México, Junio 2014

DEDICATORIA

A mi madre Gabriela Edith Milán Castillo quien con su esfuerzo, dedicación y ejemplo siempre me enseñó a sobrellevar con éxito los obstáculos de la vida.

A mi padre Federico Alberto Buenfil Vega quien me mostro el valor de las cosas y el esfuerzo que se requiere para obtenerlas.

A Reyna Peña y a mis hermanos Stephania y Freddy por ser mis compañeros de vida.

A mi abuela Ligia del Carmen Castillo por sus enseñanzas a lo largo de mi vida y apoyo me guiaste por el buen camino.

A mi tío Reynaldo Milán por demostrarme lo que es la responsabilidad, el compromiso y que puedo ser capaz de lograr lo que me proponga.

A mi familia.

A mis amigos por demostrarme que la diversión no lo es todo.

Abraham

AGRADECIMINETOS

A la Universidad de Quintana Roo por las oportunidades brindadas durante mi formación académica.

M.I.A: Juan Carlos Ávila Reveles por el tiempo y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

Al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas por las oportunidades de participación en distintos proyectos así como también vivencias durante el trabajo en campo, por su dedicación, tiempo y sugerencias aportadas al presente trabajo.

A La Biol. Laura Patricia Flores Castillo por sus recomendaciones y consejos aportados al presente documento.

Al M.C. José Martín Rivero Rodríguez por sus conocimientos aportados durante mi carrera y sabios consejos.

Al M.E.S. Roberto Acosta Olea por las facilidades brindadas a lo largo de mi carrera universitaria y sus consejos aportados en la elaboración de esta tesis.

Al Dr. José Manuel Carrión Jiménez y al M.C. José Luis González Bucio por todos sus conocimientos aportados durante mis estudios universitarios y por su grata amistad.

A los Maestros y Doctores que durante mi vida universitaria me facilitaron las herramientas necesarias para lograr lo que hoy en día estoy concluyendo y hacer de mi carrera universitaria toda una experiencia.

A Leonel Arturo Ramos Meza por su amistad, apoyo y trabajo en conjunto que realizamos para que este trabajo de tesis se lleve a cabo.

A mis amigos Jorge Sanchez y Gonzalo Zapata por todos los días de trabajo en conjunto que sin nuestras 3 mentes no se hubiesen concluido los proyectos a realizar.

Abraham

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico con mucho amor y cariño a mis padres: Luz María Meza Rodríguez y Leonel Ramos Ramírez muchas gracias por todo su apoyo incondicional, por todo el esfuerzo realizado para darme la mejor herencia de la vida que es la Educación y enseñarme que con esfuerzo y perseverancia todo lo que me proponga lo puedo lograr.

A mi hermana Mayra, a Alejandra y a Sofía que me acompañaron en este viaje.

A mi Querida Familia por todo el amor, cariño y consejos que me han dado por siempre para ser una mejor persona.

Leonel

AGRADECIMIENTOS

M.I.A: Juan Carlos Ávila Reveles por los conocimientos impartidos y por el tiempo dedicado a la supervisión de esta tesis.

Al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas por sus consejos, amistad, por las experiencias vividas en sus proyectos y conocimientos que me brindó durante la carrera, también muchas gracias porque en Usted encontré más que un maestro a un gran amigo.

A La Biol. Laura Patricia Flores Castillo por su acertada observación y sabios consejos en la realización de esta tesis.

Al M.C. José Martín Rivero Rodríguez por sus gratas conversaciones.

Al M.E.S. Roberto Acosta Olea por su apoyo a lo largo de esta tesis y mi vida universitaria.

Al Dr. José Manuel Carrión Jiménez y al M.C. José Luis González Bucio por brindarme sus conocimientos pero lo más importante su amistad.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos.

A mis amigos Gonzalo (chelo), Jorge (cuchi) y Abraham (eibi) por todas las aventuras y desveladas que pasamos juntos.

Leonel

CONTENIDO

ÍNDICE	PÁGINA
Resumen.....	X
CAPITULO I	
1. Introducción.....	1
CAPITULO II	
2. Algas.....	3
2.1. Clasificación de las algas.....	5
2.1.1. <i>Cyanophyta</i> (cianobacterias o algas verde-azules).....	5
2.1.2. <i>Chlorophyta</i> (algas verdes).....	5
2.1.3. <i>Rhodophyta</i> (algas rojas).....	6
2.1.4. <i>Chrysophyta</i> (algas pardodoradas, diatomeas).....	6
2.1.5. <i>Pyrrophyta</i> (dinoflagelados o dinofitos).....	7
2.1.6. <i>Phaeophyta</i> (algas cafés).....	8
3. El polisacárido en las algas.....	9
CAPITULO III	
4. Antecedentes.....	11
5. Lugar de estudio.....	12
CAPITULO IV	
6. Justificación.....	15
7. Objetivos.....	16
7.1. Objetivo general.....	16
7.2. Objetivos específicos.....	16
CAPITULO V	
8. Metodología.....	17
8.1. Ubicación del sitio de muestro.....	17
8.2. Recolecta de muestra.....	17

8.3. Técnica de extracción de alginato.....	18
9. Resultados.....	22
9.1. Muestreo 1.....	24
9.2. Muestreo 2.....	25
9.3. Muestreo 3.....	26
9.4. Muestreo 4.....	27
9.5. Muestreo 5.....	28
9.6. Muestreo 6.....	29
10. Discusión.....	30
11. Conclusión.....	32
12. Recomendaciones.....	33
13. Bibliografía.....	34

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1. Pláttillo con algas (izquierda), salsa de almendras con algas (centro) y un spa (derecha) utilizando cosméticos a base de algas para el cuerpo.....	3
Figura 2. Procesamiento de las algas a nivel industrial.....	4
Figura 3. Ejemplos de geles que pueden obtenerse de las algas.....	4
Figura 4. Ejemplos de algas <i>Cyanophyta</i>	5
Figura 5. Ejemplos de algas <i>Chlorophyta</i>	6
Figura 6. Ejemplos de algas <i>Rhodophyta</i>	6
Figura 7. Ejemplos de algas <i>Chrysophyta</i>	7
Figura 8. Ejemplos de algas <i>Pyrrophyta</i>	7
Figura 9. Fotografías de algas <i>Phaeophyta</i> a las orillas de las playas de Mahahual.....	8
Figura 10. Ubicación del poblado de Mahahual.....	13
Figura 11. Faro de Mahahual (izquierda), Crucero y turistas visitantes (superior derecha), vista del andador y playa (inferior derecha).....	14
Figura 12. Fotografías de pobladores realizando obras de limpieza en las playas de Mahahual.....	15
Figura 13. Puntos de muestreo en la Costa de Mahahual.....	17
Figura 14. A) Cubeta con alga recolectada; B) Lavado y enjuagado de las algas.....	18
Figura 15. A) Algas en licuadora convencional; B) Molino de semillas con alga finamente molida.....	19
Figura 16. A) Alga molida en vasos de precipitado; B) Alga hidratada a distintas concentraciones de formaldehído.....	19
Figura 17. A) Extracto de algas hidratadas; B) Pre-extracción ácida en agitación constante.....	20
Figura 18. A) Extracción alcalina a pH 10 en baño maría con agitación constante; B) Filtrado al vacío con filtro revestido con tierra de diatomeas.....	20
Figura 19. A) Secuencia de la obtención de fibras de alginato de sodio al agregar alcohol a la solución, B) Alginato de sodio antes de secado.....	21

Figura 20. Muestreo 1, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto con las diferentes concentraciones de formaldehido.	24
Figura 21. Muestreo 2, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehido.....	25
Figura 22. Muestreo 3, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehido.....	26
Figura 23. Muestreo 4, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehido.....	27
Figura 24. Muestreo 5, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehido.....	28
Figura 25. Muestreo 6, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehido.....	29
Figura 26. – Rendimiento de alginato (%) de los puntos 1 , 2 y 3 en los 6 periodos de muestreo.....	31

INDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1. Polisacáridos producidos por las algas.....	9
Tabla 2. Resultados (g) obtenidos en 6 muestreos en un periodo de 3tres meses.....	22
Tabla 3. Rendimiento en producción de alginato (%) por punto de muestreo a distintas concentraciones de formaldehido en un periodo de 3 meses.....	23
Tabla 4. Muestreo 1, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.....	24
Tabla 5. Muestreo 2, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.....	25
Tabla 6. Muestreo 3, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.....	26
Tabla 7. Muestreo 4, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.....	27
Tabla 8. Muestreo 5, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.....	28
Tabla 9. Muestreo 6, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.....	29

Resumen

En la Costa Maya de Quintana Roo se presentan arribazones que depositan en las playas cantidades considerables de biomasa vegetal, en donde Dreckmann y Senties 2013, mencionan que para el litoral del estado de Quintana Roo “el taxón más abundante fue el género *Sargassum* con 7 especies y más del 80% del peso seco por cada kilogramos colectado”, esto se consideran contaminación visual, por lo que los pobladores tienen que recogerlas y posteriormente enterrarlas o tirarlas a la basura, particularmente en el poblado de Mahahual.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el potencial de producción de alginato con algas cafés de la Costa Maya de Quintana Roo y de esta manera darle un aprovechamiento a este recurso que se encuentra en nuestras playas.

Para el proceso de extracción del polisacárido de interés, se utilizó el método de Yabur (2005), se utilizaron 4 concentraciones de formaldehído para las muestras recolectada en los 3 puntos de muestreo. Las concentraciones fueron 0.0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%. El análisis se llevó a cabo con el fin de determinar el mayor rendimiento para la producción de alginato de sodio.

La obtención del alginato se llevó a cabo en conjunto con las algas cafés *Sargassum* spp. y *Turbinaria* spp. a diferencia de Yabur que en el 2005 solo utiliza *Sargassum Sinicola*, y aplicando diferentes concentraciones de formaldehído ya que “El incremento en rendimiento de alginato, cuando se emplea el tratamiento con formaldehído, ha sido probado para algunas especies del género *Sargassum*. Davis et al., 2004 citado en (Hernández *et al.* 2009).

Posteriormente a través de la fórmula $\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso Seco del Alginato}}{\text{Peso Seco del Alga}} \cdot 100$, se determinó que la concentración de formaldehído en la que las algas cafés de la costa sur del estado producen una mayor cantidad de polisacárido es de 0.2%.

CAPITULO I

1. Introducción

El jocoque, el vino, la cerveza y el pulque son productos de la biotecnología ancestral (que utilizaba el proceso de fermentación); las vacunas contra la viruela, atribuida a Jensen en 1969, y contra la rabia, a Pasteur en 1885, son resultados del mismo principio (Bolívar, F., 2004). En la segunda mitad del siglo XX, ya con la ingeniería genética o el ADN (ácido desoxirribonucleico) recombinante se crearon microorganismos transgénicos que han derivado en productos como insulinas, interferones, vacunas, hormonas de crecimiento y la regeneración de tejido mediante el aprovechamiento de células madre. El uso del ADN recombinante, que se conoce como la biotecnología moderna (Salomón, 2009).

La biotecnología es una actividad multidisciplinaria cuyo sustento es el conocimiento de frontera generado en diversas disciplinas (entre otras, biología molecular, ingeniería bioquímica, microbiología, inmunología, genómica, bioinformática) que permite el estudio integral y la manipulación de los sistemas biológicos (Academia Mexicana de Ciencias, 2011); en México la biotecnología se ha centrado desde sus inicios en el maíz dejando en segundo término la majestuosidad de los recursos con los que cuenta en el país (Salomón, A., 2009). Bolívar (2009) hace un comentario muy acertado al mencionar que “en el país hay grandes rezagos en la explotación de la biotecnología” pudiendo expandir los alcances de esta ciencia en nuestro territorio.

La especie más importante para la producción de alginatos en México es el Sargazo Gigante (*Macrocystis pyrifera*) por su alto contenido de ficocoloide y su abundancia (Hernandez, 1985; Rodríguez y Hernandez, 1991). Esta especie se distribuye en la costa noroccidental de la península de Baja California, desde la frontera con Estados Unidos hasta Punta San Hipólito BCS. Se ha estimado que existe un potencial cosechable en donde el alga puede llegar a crecer hasta 50 cm por día (Reed, 1994). Por lo tanto ellos cosechan o cortan las algas a una determinada distancia para permitirles el crecimiento a diferencia de este trabajo en el cual las algas no tienen que ser cosechadas, ya que la recolecta de algas está regida por las arribaciones y deposición de las algas a la orilla de la playa.

El estado de Quintana Roo cuenta con 865 km de litorales de los cuales 700 km se encuentran frente al Mar Caribe y 165 en el Golfo de México. La principal actividad económica en el estado es el turismo habiendo desarrollo hotelero y actividades eco turísticas que se encuentran cerca de la costa en donde diariamente arriban sargazos y algas marinas recalando a las playas en donde parte de esta permanece depositada sin ningún uso.

Las algas son plantas talofitas, unicelulares o pluricelulares, que viven de preferencia en el agua, tanto dulce como marina (RAE, 2013). La mayoría de las algas son capaces de elaborar sustancias orgánicas a partir de dióxido de carbono y de sustancias inorgánicas disueltas en el agua; este proceso (fotosíntesis) se cumple a través de la clorofila, un pigmento verde presente en las células, que actúa transformando la energía luminosa en energía química, las sales y otras sustancias nutritivas pueden ingresar por cualquier punto de su cuerpo; a diferencia de las plantas vasculares terrestres, no poseen tejidos de conducción ni de sostén. Se

mantienen erguidas porque al desarrollarse en el agua la gravedad no actúa sobre ellas (Museo Virtual UNP, 2014). En nuestro estado no se le da un aprovechamiento a este recurso de gran valor comercial el cual a través de procesos biotecnológicos se puede aprovechar los componentes estructurales de las algas.

En el presente trabajo se pretende extraer un polisacárido de interés comercial denominado alginato y poder aprovechar este recurso que se encuentra en nuestras playas y que, incluso, se le denomina contaminación visual; en este sentido darle un valor agregado y diversificar de esta manera las actividades productivas en el estado, teniendo en cuenta que durante el año correspondiente al segundo semestre de 2007 al primer semestre del 2008, México importó 535 toneladas de alginatos de 12 países diferentes, entre los que destacan Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Irlanda, Chile, Japón y Noruega. El costo de importación anual de alginatos fue de 6.2 millones de dólares (11.6 dólares por kg). Secretaria de Economía, 2009 en Hernández *et al.* 2009.

CAPITULO II

2. Algas

Las algas son cada una de las plantas talofitas, unicelulares o pluricelulares, que viven de preferencia en el agua, tanto dulce como marina, y que, en general, están provistas de clorofila acompañada a veces de otros pigmentos de colores variados que la enmascaran (RAE, 2013). Las algas marinas son recursos valiosos que se han utilizado de diferentes formas como en la alimentación y uso cosmético (Figura 1), directamente en su forma natural (Nirmal *et al.* 2009) o bien, pueden ser procesadas para obtener compuestos químicos, que a su vez, se emplean en diversos tipos de industrias (Figura 2). Los compuestos extraídos de las algas tienen la propiedad de formar soluciones viscosas o geles (Figura 3). Unos de los principales geles de importancia comercial es el alginato, que se extrae de las algas cafés y el agar que se extrae de las algas rojas (McHugh, 1987).



Figura 1. Platillo con algas (izquierda), salsa de almendras con algas (centro) y un spa (derecha) utilizando cosméticos a base de algas para el cuerpo.

(<http://blogs.lavozdeg Galicia.es/menudeldia/tag/algas-gallegas/>;

<http://www.mumumio.com/tienda/terravitae/salsas/salsa-de-almendras-y-algas-320-grs>;

<http://www.beautymarket.es/estetica/las-algas-y-su-uso-en-cosmetica-estetica-4443.php>).



Figura 2. Procesamiento de las algas a nivel industrial.

(<http://www.profesorenlinea.cl/flora/Algas.htm>;

<http://www.cubadebate.cu/noticias/2011/09/21/cuba-investiga-organismos-marinos-de-posible-uso-medicinal/>)

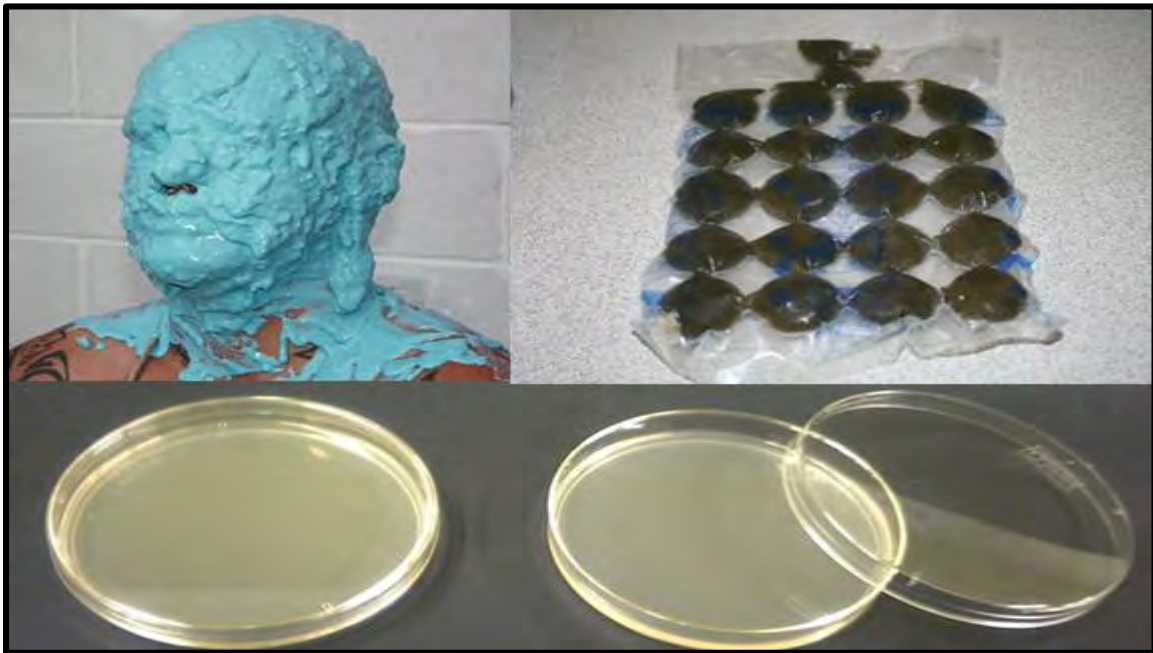


Figura 3. Ejemplos de geles que pueden obtenerse de las algas.

(<http://motllesfacils.blogspot.mx/2010/10/un-moldes-de-una-cabeza-con-alginato.html>;

<http://aquiconmiscosas.blogspot.mx/2009/04/preparacion-gel-de-algas.html>)

Las algas abarcan una gran diversidad de organismos, estas varían en tamaño desde células individuales tan pequeñas como un micrómetro hasta las grandes algas marinas que crecen más de 50 m. La mayor parte de las algas son autótrofas aunque algunas formas, están estrechamente relacionadas sin duda, son heterótrofas facultativas u obligadas; unas inclusive son fagotróficas. Mientras que la mayoría de las algas son organismos acuáticos que viven en aguas dulces o marinas, es posible encontrar algunas especies que se desarrollan en hábitats

tan diversos como troncos de árboles, bancos de nieves, aguas termales o incluso dentro de cavidades diminutas de las rocas del desierto (Marshall, 1987).

Por lo anterior, Paloma Cubas (2008) define: “Las algas son organismos acuáticos, fotoautótrofos oxigénicos, y poco complejos morfológicamente.

2.1. Clasificación de las algas

La clasificación de las algas es muy variada; por lo cual se tomará la realizada por la Fiaes (2006), en la cual se clasifica por el pigmento que contienen, a continuación se describen brevemente las características de cada una de ellas.

2.1.1. *Cyanophyta* (cianobacterias o algas verde-azules): Cuenta con más de 2000 especies y sus células carecen de núcleo y otras estructuras celulares (Figura 4). Son más comunes en agua dulce, aunque también se encuentran en agua salada y en hábitat terrestres, como el suelo, tronco de los árboles o rocas. Algunas sobreviven en ambientes extremos alcanzando los 73°C. Se reproducen asexualmente.

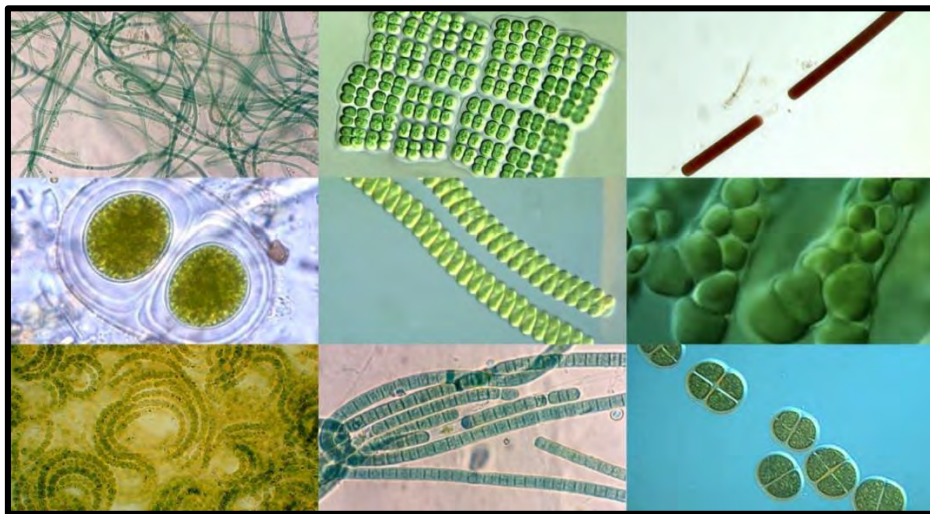


Figura 4. Ejemplos de algas *Cyanophyta*.

(<http://leccionesdebotanica.blogspot.mx/2013/03/filo-cyanophyta-algas-verde-azuladas.html>)

2.1.2. *Chlorophyta* (algas verdes): Esta clase comprende más de 8000 especies. Las células contienen clorofila, como las plantas, lo que le da a las algas su color verdoso (Figura 5). Viven en los lagos, océanos, tierra firme en suelos y troncos de los árboles. Se reproducen sexual y asexualmente.



Figura 5. Ejemplos de algas *Chlorophyta*. (<http://www.fotosimagenes.org/chlorophyta>).

2.1.3. *Rhodophyta* (algas rojas): Está compuesta por 5100 especies las cuales contienen el pigmento rojo ficoeritrina el cual les confiere el color rojizo. Casi todas son marinas (Figura 6). Se reproducen sexual y asexualmente. El carraguín es un espesante que se usa en la fabricación de helados, cosméticos, medicamentos, fabricación de agar (un gel que se utiliza en laboratorios), son productos que se extraen de ciertas algas rojas.



Figura 6. Ejemplos de algas *Rhodophyta*.

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/73/Haeckel_Florideae.jpg/250px-Haeckel_Florideae.jpg).

2.1.4. *Chrysophyta* (algas pardodoradas, diatomeas): Están compuestas por más de 21500 especies. La mayoría son algas unicelulares o coloniales que se caracterizan por presentar el pigmento xantofila, que les confiere una coloración amarillenta o pardusca (Figura 7). Las diatomeas son organismos unicelulares que tienen paredes formadas por sílice.

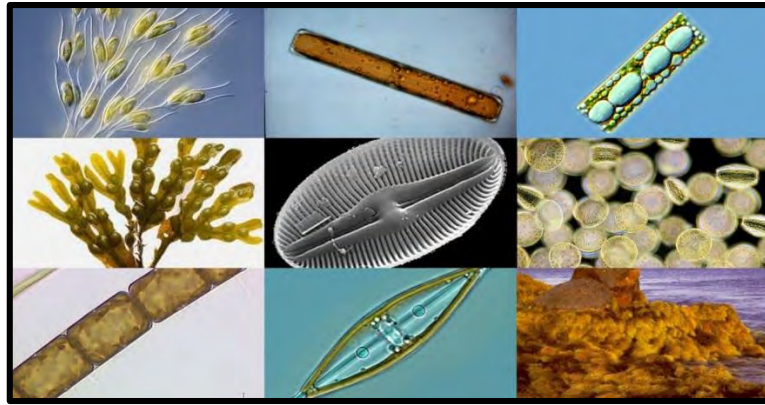


Figura 7- Ejemplos de algas *Chrysophyta* (http://biologyfordumbs.blogspot.mx/p/bab-5-protista_02.html).

2.1.5. *Pyrrophyta* (dinoflagelados o dinofitos): Cuenta con más de 4000 especies. Son organismos la mayoría unicelulares con duras placas celulares. Muchas especies tienen una ornamentación característica (Figura 8). Algunas especies son fotosintetizadoras; otras se alimentan de organismos diminutos o son parásitas. Se reproducen asexualmente y sexualmente. Algunas especies experimentan una explosión de población formando una marea roja que puede asfixiar a los peces o producir toxinas que son letales para los seres humanos que comen mariscos contaminados. Algunas especies son bioluminiscentes.

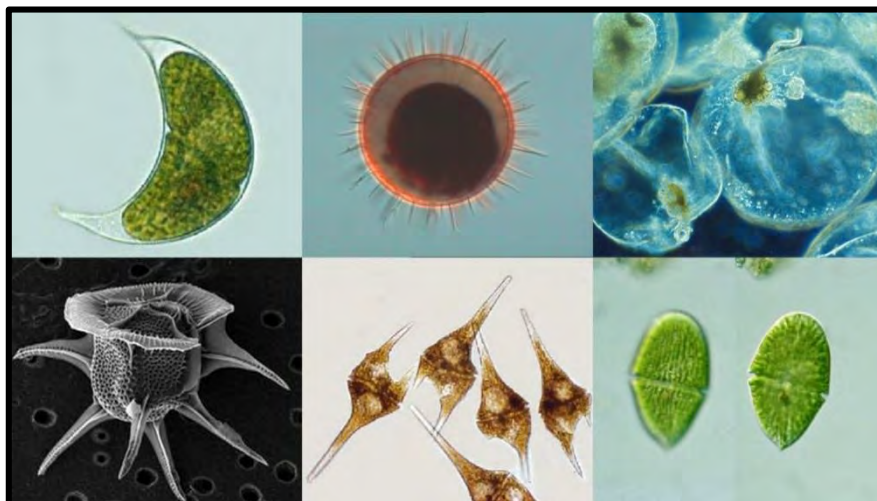


Figura 8- Ejemplos de algas *Pyrrophyta* (<http://tiempodeexito.com/biologia2/13.html>).

2.1.6. *Phaeophyta* (algas cafés): Las más de 1500 especies de algas cafés son casi exclusivamente marinas (Figura 9), y comprende solo 3 especies de agua dulce (Dawes, 1986). Aunque su mayor diversidad se da en zonas polares, boreales y en latitudes templadas, también crecen en aguas tropicales y subtropicales, siendo el ejemplo más conocido las grandes concentraciones de algas cafés (del género *Sargassum*) que caracterizan el Mar de los Sargazos (Cubas, 2008).

Morfológicamente son muy variadas, aunque todas son pluricelulares, no existiendo organismos unicelulares en este grupo. Su rango va desde filamentos microscópicos muy simples hasta grandes formas de muchos metros de longitud, con una clara especialización de células, órganos y tejidos. Es el grupo de algas que mayor complejidad anatómica ha alcanzado, presentando estructuras especializadas para la fotosíntesis (lamina), para el soporte y transporte de compuestos (estripe) y para el anclaje al substrato (hapterio). La combinación de pigmentos fotosintéticos (clorofila a y c, fucoxantina y diatoxantina, principalmente) les permite realizar la fotosíntesis a muy diferentes niveles en el océano, incluso a profundidades donde solo llegan las longitudes de onda más cortas de la luz solar.

Su pared celular contiene (además de celulosa) ácido algínico y sales sulfatadas. Estos compuestos dan resistencia y flexibilidad al alga, ya que forman geles en la matriz intercelular, ayudándoles a resistir las tensiones provocadas por las olas y corrientes marinas. Además intervienen en el intercambio iónico y ayudan a evitar la desecación del alga, especialmente cuando viven en la zona litoral, donde quedan periódicamente expuestas al aire y a la luz solar. Estos mismos compuestos son los que hacen a las algas cafés sean de gran utilidad e interés económico. En algunas especies el alginato pueden constituir hasta el 20-40% del peso seco del alga (Cubas, 2008).



Figura 9. Fotografía de algas *Phaeophyta* a las orillas de las playas de Mahahual.

3. El polisacárido en las algas

En las algas marinas, los polisacáridos llevan a cabo un papel estructural parecido al de la celulosa en las plantas. Así, estas moléculas confieren a las algas una estructura más flexible que les permite soportar fuerzas y movimientos debido a la acción de las corrientes en el agua (Diaz *et al.* 1999). Las numerosas especies de algas marinas existentes se clasifican en cuatro categorías fundamentales en función de sus pigmentos y cada familia produce polisacáridos de diferentes tipos (Mata, 2006) (Tabla 1).

Tabla 1. Polisacáridos producidos por las algas (Mata, 2006)

Familia	Polisacárido
<i>Cyanophyta</i> (algas verde-azul)	Glucógeno, lipopolisacáridos
<i>Chlorophyta</i> (algas verdes)	Almidón, laminarina, celulosa, glucomanas
<i>Rhodophyta</i> (algas rojas)	Agar, carragenina, furcellarana
<i>Phaeophyta</i> (algas cafés)	Alginatos, heteroglucanas sulfatadas

A los compuestos extraídos de las algas que tienen la propiedad de formar soluciones viscosas o geles, se les llama ficocoloides (Hernández *et al.* 2009). Los principales ficocoloides de importancia comercial son el alginato, que se extrae de las algas cafés; el agar y la carragenina que se extrae de las algas rojas (McHugh, 1987).

Los alginatos son uno de los principales componentes estructurales de la pared celular de las algas cafés (Van den Hoek *et al.* 1995), cuya función principal es la de dotar de fuerza y flexibilidad a las algas.

Los alginatos son las sales del ácido algínico, un polisacárido lineal constituido por dos unidades monoméricas, el ácido β -D-manurónico (M) y el ácido α -L-gulurónico (G). Estos se agrupan en bloques de secuencias MM, MG y son los que confieren rigidez y flexibilidad al alga (Espín *et al.* 2000; Sabra *et al.* 2000).

El polisacárido de interés para este trabajo es el alginato el cual es un producto que se usa en la industria alimenticia, textil, farmacéutica, entre otros; gracias a cuatro propiedades principalmente. La primera concierne a su habilidad como espesante al ser disuelto en agua, generando un aumento en la viscosidad de la solución en que se disuelve. La segunda a su capacidad de retener agua. La tercera se debe a su habilidad de formar un gel a partir de una serie de reacciones químicas de intercambio iónico que dan lugar a la formación de enlaces entre las cadenas adyacentes de alginato. Particularmente se realiza un intercambio de iones de sodio. La cuarta se basa en la propiedad de formar películas de alginato, ya sea de sodio o calcio, y fibras principalmente de alginato de calcio (McHugh 1987).

Los alginatos se utilizan ampliamente en la industria para darle consistencia y un aspecto adecuado a productos lácteos y productos enlatados; la textura es mejorada y la humedad es retenida con alginatos en productos de pastelería, como las mezclas para pasteles y los merengues. En alimentos congelados las propiedades de los alginatos aseguran la textura suave y el descongelamiento uniforme. La estabilización de la espuma de la cerveza es una de

las funciones más usuales de los alginatos. Para las impresiones en tela, se usan como espesante de la pasta que contiene la tinta. En la fabricación de papel produce una película suave y continua y una superficie con menos pelusa. Los alginatos también encuentran uso en la fabricación de varillas para soldar. En el campo de la medicina, el alginato se utiliza como agente desintegrador de tabletas y en la elaboración de vendas para heridas que son absorbidas por el cuerpo y no tienen que ser removidas (Hernández-Carmona y Rodríguez, 1990). Los alginatos se usan para tratar úlceras gástricas, disminuyen el nivel de colesterol plasmático, inhiben las granulaciones y mastocitos, que están implicados en las reacciones de alergia (Nagaoka *et al.* 2004) y la inmovilización de organismos benéficos para el tratamiento de aguas residuales y como promotores del crecimiento de plantas (Yabur *et al.* 2007) y cada día se descubren más usos para estos compuestos en diferentes industrias y la mayoría de los estudios recientes sobre el tema de los alginatos se ha concentrado en nuevas aplicaciones como: acarreadores de proteínas (Coppi *et al.*, 2001); intercambiadores de metales (Davis *et al.*, 2004); incorporación en textiles (Gorensek y Bukosek, 2006); inmovilización de levaduras (Pajic *et al.*, 2007); micro encapsulados (Shuldt y Hunkeler, 2007; Merc, 2008); absorción de radiación ultravioleta (Tavares, 2007); control de la colitis ulcerativa (Alireza *et al.*, 2008), promotor del crecimiento de las raíces de las plantas terrestres (Iwasaki y Matsubara, 2000). Entre muchos más; y en los usos indirectos, se encuentra que los residuos del proceso de extracción de alginatos, pueden ser utilizados como fertilizante, ya que bacterias degradan el alginato a oligosacáridos durante el proceso de composta (Tang *et al.*, 2009).

El ácido algínico y sus distintos alginatos poseen usos diversos en la actualidad. El más utilizado es el alginato de sodio, el cual ofrece propiedades particulares que le permite ser utilizado en diversas ramas de la industria, fundamentalmente, en aquellos procesos que requieren agentes espesantes, gelificantes y emulsificantes. La extracción de alginato es típica de países que poseen un alto nivel de desarrollo tecnológico (Mesa *et al.* 1998), gracias a la creciente demanda y necesidad en nuestro país, existe un gran interés por la producción de este compuesto.

CAPITULO III

4. Antecedentes

La extracción de alginatos se realizó por primera vez en 1881 por Stanford mediante extracción alcalina (McHugh, 2003), y Krefling en 1886 patentó el primer proceso para obtener ácido algínico puro; sin embargo la producción comercial de alginatos inició en 1929 con la compañía Kelco de San Diego, California, EUA. El proceso fue desarrollado y patentado por Thornley y Walsh (1931) después por Clark y Green (1936), Green (1936) y LeGloahec y Herter (1938). A partir de entonces, muchos investigadores han desarrollado modificaciones al proceso para obtener un mayor rendimiento. Bashford *et al.* (1950) y posteriormente Haug (1964) propusieron la transformación del ácido algínico insoluble a alginato de sodio en dos reacciones de intercambio iónico. Myklestad (1968) describió el efecto de diferentes factores en la etapa de preextracción. Otros investigadores también han estudiado esta etapa como Duville *et al.* (1974), Hernández-Carmona y Aguirre-Vilchis (1987), Hernández-Carmona *et al.* (1992), Arvizu-Higuera *et al.* (1995), Arvizu-Higuera *et al.* (1997).

La extracción se basa en una serie de reacciones de intercambio iónico que permiten extraerlo de la materia prima en particular, cuyo procedimiento se ha ido modificando y optimizando con el tiempo (McHugh, 2003).

Existen dos procesos básicos para la obtención de alginato de sodio. En el primero, los principales intermediarios son alginato de calcio y ácido algínico. En el segundo, no se forma alginato de calcio, solo ácido algínico. En ambos procesos, durante la etapa de conversión del ácido algínico a alginato de sodio, se usa agua o alcohol como solvente, obteniendo resultados muy diferentes. En el proceso de calcio normalmente el solvente es agua y el proceso de ácido se emplea más el alcohol, debido al alto contenido de agua en el ácido algínico (McHugh, 1987). El ácido algínico y el alcohol pueden ser mezclados en un recipiente provisto de un medio de agitación, añadiendo la cantidad calculada del agente alcalino deseado, o bien, añadiéndolo simultáneamente con el alcohol (Clark *et al.*, 1949). En algunas patentes se describen estos procesos, pero no se proporcionan detalles de la concentración o el volumen del solvente empleado, en algunos métodos, el ácido algínico se lava con agua hasta obtener un pH de 4 y se mezcla con carbonato de sodio hasta obtener un pH de 7 (Baranov *et al.*, 1980). En otros casos, el ácido algínico se mezcla con cantidades determinadas del reactivo correspondiente que contiene el catión necesario para la conversión de ácido algínico a alginato de sodio (Lukacgyov *et al.*, 1965). El ácido algínico también se puede concentrar por centrifugación y coagularlo usando alcohol para posteriormente recuperarlo (LeGloahec *et al.*, 1938).

5. Lugar de estudio

Mahahual se localiza en el Mar Caribe en la zona costera de la zona sur de Quintana Roo (Figura 10); es una localidad del municipio de Othón P. Blanco, a una latitud de 18°42'58"N y una longitud de 87°42'26", con una temperatura media anual de 28.1 C y una precipitación media anual de entre 1200 y 1500 mm (Estación Climatológica Mahahual, Comisión Nacional del Agua, 2000, en Datlabuit, Cisneros & Valenzuela, 2007, p.78).

De junio a octubre, los vientos dominantes vienen del este y de enero a mayo se presentan del suroeste. La velocidad media es de 10.8 a 12.6 km/h de marzo a junio y de septiembre a diciembre desciende hasta 7.2 km/h. Aunque el clima presenta pocas variaciones en cuanto a temperatura y humedad relativa, los vientos presentan una velocidad promedio de 14.4 km/h (Programa de Desarrollo Urbano de Mahahual, 2005). Debido al efecto del régimen de vientos prevaecientes (alisos), las corrientes oceánicas y tienen un flujo con dirección sur-norte representado por la corriente de Yucatán. Los patrones hidrodinámicos dependen básicamente de la potencia de la corriente de Yucatán y de los vientos dominantes; en invierno los vientos dominantes provienen del norte, y el resto del año, del suroeste (vientos alisos) (Merino, 1986; Suarez y Rivera, 1998).

Es una región plana, a cinco metros por encima del nivel del mar pertenece a la provincia fisiográfica Costa Baja de Quintana Roo. La cobertura vegetal corresponde a selvas, sabanas, zonas de manglar, dunas costeras y zonas perturbadas (Datlabuit et al., 2007). De acuerdo con los datos publicados en el Censo de Población y Vivienda 2010, la localidad de Mahahual cuenta con 920 habitantes. Las actividades económicas que principalmente se desarrollan son la pesca, el turismo y el comercio (Datlabuit et al., 2007, p.83).

El asentamiento urbano tiene una sencilla estructura lineal que se desarrolla paralela a la costa en dirección Norte-Sur, las funciones habitacionales, de servicios y equipamiento se sitúan a lo largo de la única vialidad importante Av. Mahahual y de la calle Huachinango (paralela a la anterior), el resto del sistema vial está integrada por vialidades secundarias o calles locales; se cuenta con una planta de bombeo que trae el agua desde el sector norte cercano a Sol y Mar que abastece a la comunidad de Mahahual. En el 2002 se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales de 10 l. p. s., para dar servicio a las áreas del poblado antiguo, muelle de cruceros y el propio fraccionamiento (H. Ayuntamiento de O. P. B., 2008).

En flora y fauna marina, Can (2003) presentó un inventario de corales, esponjas, pasto marino *Thalassia testudinum*, 47 especies de algas, 44 especies de corales escleractinios y 103 especies de peces.

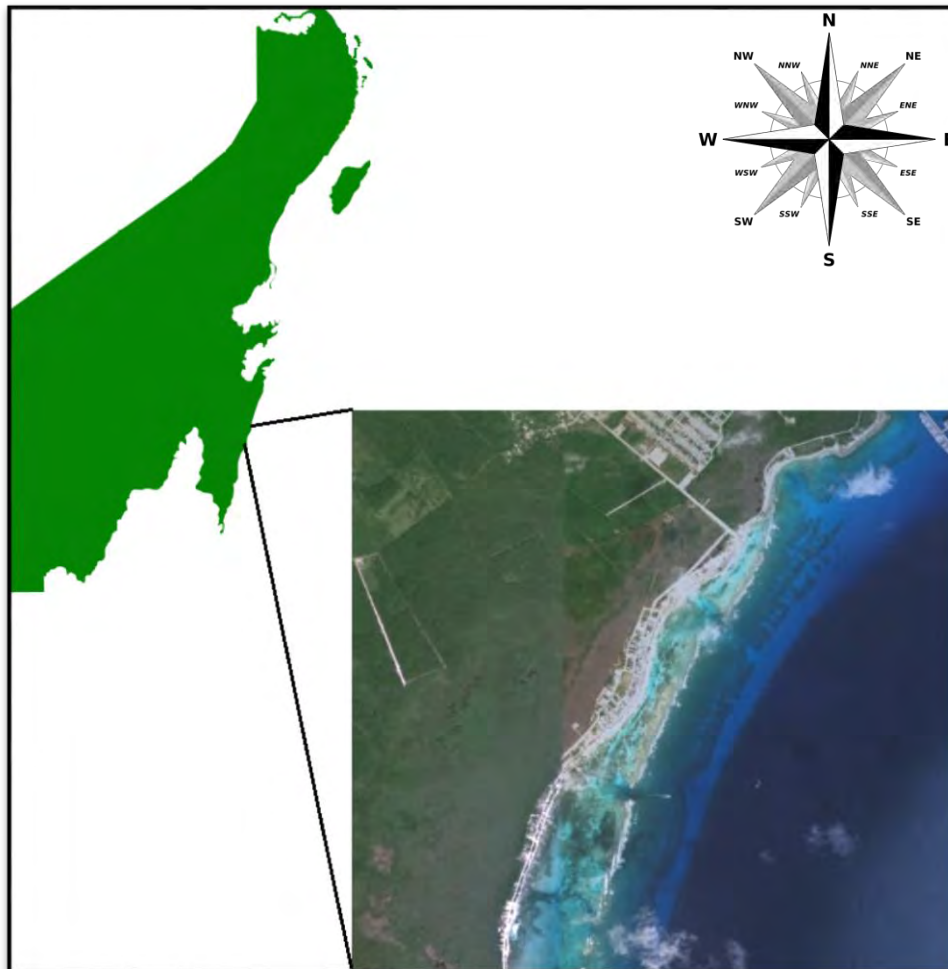


Figura 10. Ubicación del poblado de Mahahual (Google Earth, 2013)

Gracias a la cercanía del arrecife, las playas de Mahahual son unas albercas naturales de increíbles tonos azules esmeraldas (Figura 11) (Sectur, 2011).



Figura 11. Faro de Mahahual (izquierda), Crucero y turistas visitantes (superior derecha), vista del andador y playa (inferior derecha) (Fuente: <http://www.tucancostamaya.com>).

Capítulo IV

6. Justificación

Mahahual es una comunidad costera central del proyecto o región conocida como Costa Maya, el cual tiene sus antecedentes institucionales dentro del plan de gobierno de Quintana Roo 1993-1999, teniendo como su motor de desarrollo económico al turismo. Basa su economía principalmente en el turismo que ha ido desplazando la pesca y actividad coprera con los que surgió (Ek, E., 2012).

En la Costa Maya de Quintana Roo se presentan las arribazones que, son eventos ocasionales provocados por el efecto del oleaje y las corrientes, que depositan en las playas cantidades considerables de algas y fanerógamas marinas, a veces de recorrer enormes distancias, aunque también pueden desprenderse de fondos cercanos (Lemus y Aponte, 1987).

Por lo general, el sector turístico ha venido calificando las arribazones como basura playera (Figura 12) durante los últimos 30 años. Para este sector y para el propio turista, efectivamente, resulta molesto en términos visuales, incómodos para el traslado a lo largo y ancho de la playa y repulsivos por el olor generado por la rápida descomposición algal. Desde luego la única solución es la limpieza periódica de las playas y la subsecuente incorporación de los desechos de algas al resto de desechos urbanos Dreckmann y Senties, 2013).

A los compuestos extraídos de las algas que tienen la propiedad de formar soluciones viscosas o geles, se les llama ficocoloides (Hernández *et al.* 2009). Los principales ficocoloides de importancia comercial son el alginato, que se extrae de las algas cafés; el agar y la carragenina que se extrae de las algas rojas (McHugh, 1987).

Tomando en consideración lo antes expuesto, se propone la utilización y recolección de las algas cafés (*Sargassum* spp. y *Turbinaria* spp.) que se encuentran presentes en estas arribazones, por lo que en el presente trabajo se documentará el proceso de obtención del alginato, así como su potencial al obtener un producto con valor agregado e interés comercial. Para lo cual se plantean los siguientes objetivos.



Figura 12. Fotografías de pobladores realizando obras de limpieza en las playas de Mahahual.

7. Objetivos

7.1. Objetivo general:

Proponer una alternativa de aprovechamiento de las algas cafés en la costa maya de Quintana Roo, con el fin de obtener un valor agregado y contribuir en la disminución de la contaminación visual de las playas.

7.2. Objetivos específicos:

- Obtención de alginato de sodio para las algas Cafés (*Sargassum* spp. y *Turbinaria* spp.) por el método utilizado por Yabur (2005).
- Cuantificar el rendimiento de alginato de sodio para las algas cafés (*Sargassum* spp. y *Turbinaria* spp.) en conjunto.
- Determinar la concentración óptima de formaldehído para el rendimiento de alginato.

CAPITULO V

8. Metodología

8.1. Ubicación del sitio de muestreo

El sitio seleccionado es el poblado de Mahahual que se encuentra dentro de la costa maya de Quintana Roo, en donde se ha observado la forma en que se deshacen del material recalado, se realizaron tres puntos de muestreo de los cuales dos se encuentran dentro del área del malecón Punto 1: $18^{\circ}43'11.83''$ N $87^{\circ}42'21.16''$ O, Punto 2: $18^{\circ}42'50.92''$ N $87^{\circ}42'26.76''$ O, el tercero en el km 3 de la carretera costera de Mahahual-Xcalak Punto 3: $18^{\circ}41'07.75''$ N $87^{\circ}43'05.65''$ O (Figura 13); en un periodo de tres meses tomando dos muestreos mensuales, en los cuales se realizó la recolecta de 4 kg de las algas peso húmedo.

8.2. Recolecta de muestras



Figura 13. Puntos de muestreo en la Costa de Mahahual (Google Earth, 2013).

La recolecta de las muestras se realizaron cada 15 días a partir del 15 de junio de 2013 hasta el 30 de agosto de 2013 de forma manual tomando 4 kg de material recalado, colocándolas en 4 cubetas de 10 lts. Al momento de recolectar las muestras se les separaron los pastos marinos y residuos que pudieran haber sido colectados. Las muestras fueron transportadas al laboratorio, posteriormente se enjuagaron las algas con agua (Figura 14) y se deshidrataron al sol durante dos días.

Adicionalmente una vez en el punto de muestreo, se seleccionó un área dispuesta perpendicularmente a la línea de costa, tomando toda la biomasa vegetal que se encontraba en 1m², de arribazón presente y se pesó, en cada uno de los puntos solo durante el primer muestreo.



Figura 14. A) Cubeta con alga recolectada; B) Lavado y enjuagado de las algas.

8.3. Técnica de extracción del alginato

La técnica a emplear para la extracción de alginato de sodio será la utilizada por Yabur (2005) y consiste en los siguientes pasos:

La reducción del alga se realizó en dos partes; la primera consistió en la reducción del tamaño del alga en una licuadora convencional para facilitar su manejo (Figura 15 A) y posteriormente hacer un molido más fino en un molino de semillas (Figura 15 B).



Figura 15. A) Algas en licuadora convencional; B) Molino de semillas con alga finamente molida.

Al obtener el alga molida, se pesan 4 muestras de 30 g para cada una de las concentraciones y se colocan en un vaso de precipitados de 1 litro (Figura 16 A) para realizar una hidratación con una solución de formaldehído de 250 ml a diferentes concentraciones (0.0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%) dejándolas reposar por un lapso de 12 horas (Figura 16 B).

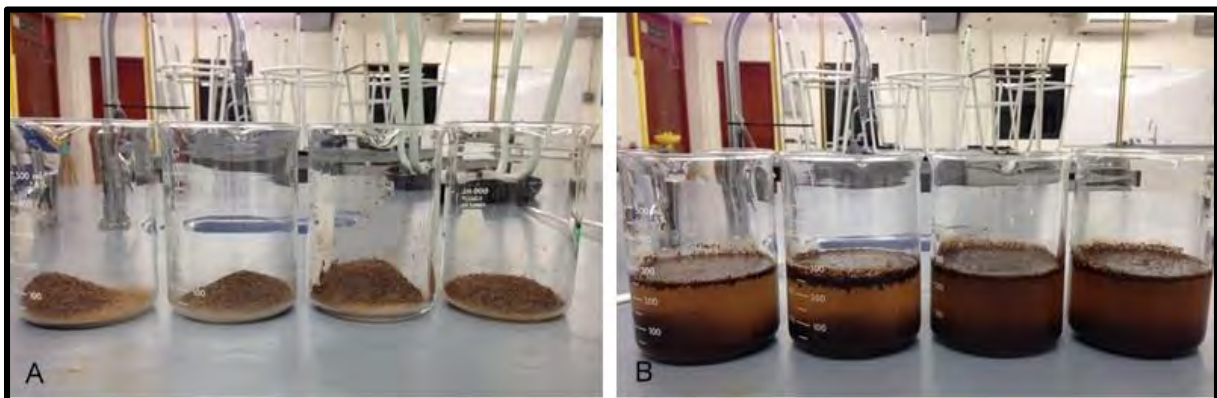


Figura 16. A) Alga molida en vasos de precipitado; B) Alga hidratada a distintas concentraciones de formaldehído.

Transcurridas las 12 horas de hidratación, la solución se drenó en un matraz Kitazato y se prosiguió con la Pre-extracción con ácido clorhídrico, la cual se llevó a cabo colocando el extracto (Figura 17 A) en un vaso de precipitado de 1 litro agregando 450 ml de agua destilada y posteriormente adicionando suficiente HCl hasta alcanzar un pH de 4 y manteniendo una agitación constante durante 15 minutos (Figura 17 B).

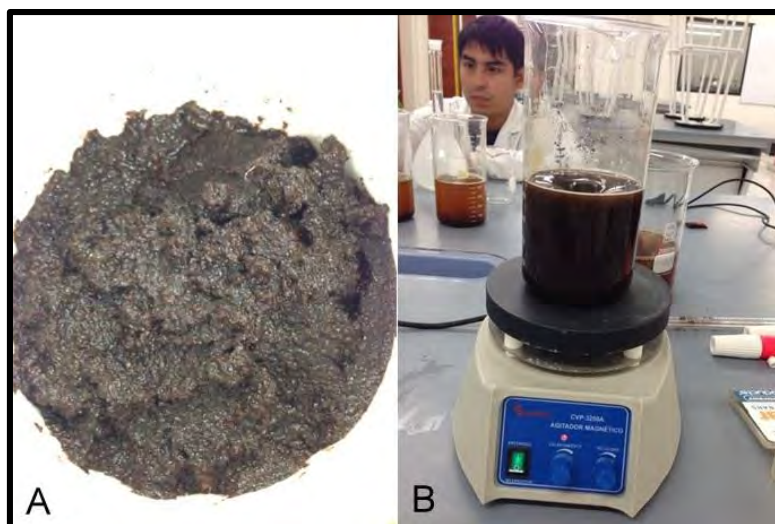


Figura 17. A) Extracto de algas hidratadas; B) Pre-extracción acida en agitación constante.

Al concluir la pre-extracción las algas se drenan en un matraz Kitazato y se realiza la extracción alcalina, colocando el extracto en 750 ml de agua destilada y ajustando el pH a 10 con una solución de Na_2CO_3 al 10% y elevando la temperatura a 80 C, en baño maría durante 2 hrs, con una agitación constante (Figura 18).

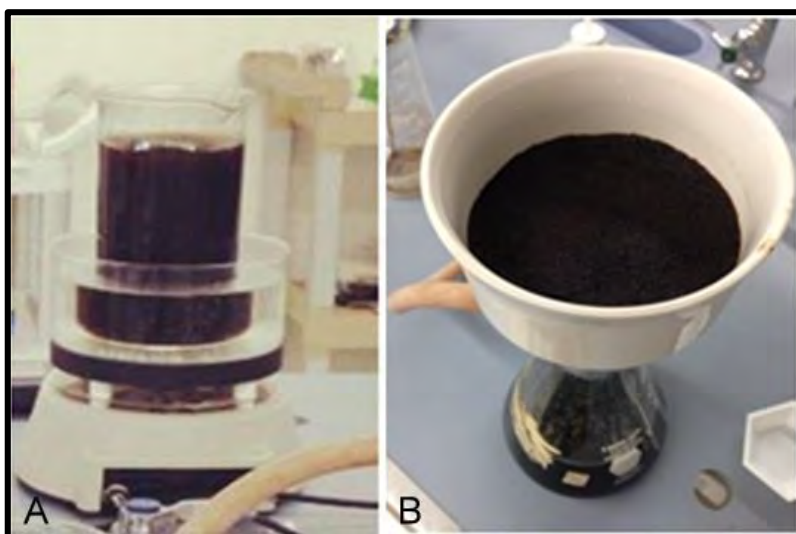


Figura 18. A) Extracción alcalina a pH 10 en baño maría con agitación constante; B) Filtrado al vacío con filtro revestido con tierra de diatomeas.

Al finalizar la extracción alcalina, se extrajo el vaso de precipitado del baño maría, para permitir una disminución en la temperatura de la muestra, por otro lado, se preparó un matraz kitasato que contenía un filtro revestido con tierra de diatomeas, en el cual fue vertida la muestra para filtrar el contenido con la ayuda de una bomba al vacío (Figura 18 B).

La solución resultante se mezcla con una cantidad igual de alcohol que al ser agregado va formando paulatinamente las fibras de alginato de sodio (Figura 19 A).

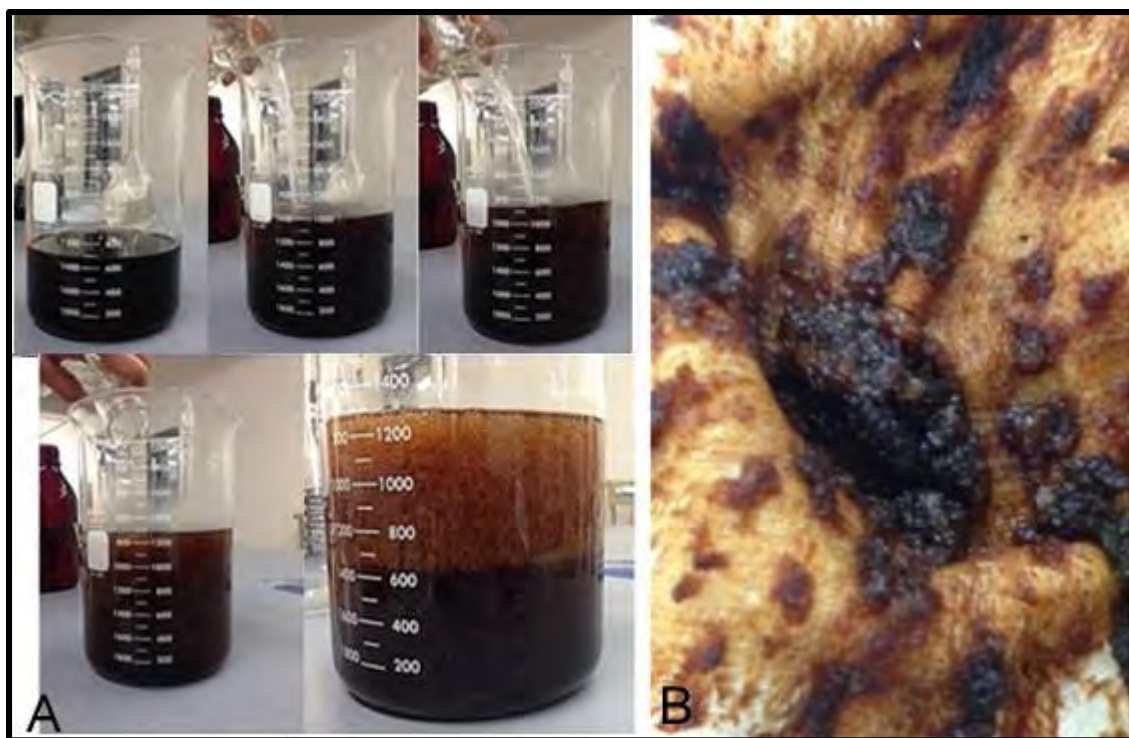


Figura 19. A) Secuencia de la obtención de fibras de alginato de sodio al agregar alcohol a la solución, B) Alginato de sodio antes de secado.

Las fibras de alginato de sodio se drenaron (Figura 19 B) y prensaron para posteriormente mantenerlas en secado por 16 hrs en un horno a temperatura de 35 C. Transcurrido el tiempo de secado del alginato de sodio, se pesó en una balanza electrónica y por medio de la siguiente formula se obtuvo el rendimiento de alginato.

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso Seco del Alginato} / \text{Peso Seco del Alga} \cdot 100$$

Se obtuvieron los siguientes resultados.

9. Resultados

Tabla 2. Resultados (g) obtenidos en 6 muestreos en un periodo de 3tres meses.

	Muestreo 1			Muestre 2		
Formaldehido	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
0	1.29 g	1.59 g	0.828 g	0.789 g	0.357 g	0.63 g
0.20%	2.15 g	2.24 g	1.49 g	0.813 g	0.558 g	1.15 g
0.40%	1.18 g	1.41 g	1.31 g	0.639 g	0.513 g	0.975 g
0.60%	1.035 g	1.23 g	1.18 g	0.657 g	0.324 g	0.609 g
	Muestreo 3			Muestreo 4		
Formaldehido	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
0	2.55 g	0.408 g	1.39 g	1.05 g	1.29 g	0.528 g
0.20%	2.81 g	1.05 g	1.81 g	1.84 g	1.93 g	0.888 g
0.40%	2.7 g	0.96 g	1.35 g	0.888 g	1.14 g	0.699 g
0.60%	2.26 g	0.78 g	1.08 g	0.798 g	0.96 g	0.72 g
	Muestreo 5			Muestreo 6		
Formaldehido	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
0	1.2 g	0.309 g	0.42 g	0.558 g	0.909 g	0.879 g
0.20%	0.759 g	0.528 g	0.888 g	0.72 g	0.759 g	0.51 g
0.40%	0.579 g	0.489 g	0.72 g	0.558 g	0.45 g	0.459 g
0.60%	0.51 g	0.36 g	0.54 g	0.489 g	0.528 g	0.519 g

El alginato obtenido por el método de extracción de Yabur (2005) por punto muestreado en un periodo de 3 meses fue uniforme a excepción del muestreo 5 punto 1 y muestreo 6 punto 2 y 3 (Tabla 2).

Tabla 3. Rendimiento en producción de alginato (%) por punto de muestreo a distintas concentraciones de formaldehído en un periodo de 3 meses.

	M1				M2			
C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio	P1	P2	P3	Promedio
0	4.31%	5.3%	2.76%	4.12%	2.63%	1.19%	2.1%	1.97%
0.20%	7.18%	7.48%	4.97%	6.54%	2.71%	1.86%	3.86%	2.81%
0.40%	3.96%	4.7%	4.38%	4.35%	2.13%	1.71%	3.25%	2.36%
0.60%	3.45%	4.1%	3.96%	3.84%	2.19%	1.08%	2.03%	1.77%
	M3				M4			
C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio	P1	P2	P3	Promedio
0	8.53%	1.36%	4.66%	4.85%	3.53%	4.3%	1.76%	3.2%
0.20%	9.367%	3.53%	6.06%	6.32%	6.16%	6.43%	2.96%	5.18%
0.40%	9%	3.2%	4.53%	5.58%	2.96%	3.8%	2.33%	3.03%
0.60%	7.56%	2.6%	3.6%	4.59%	2.66%	3.2%	2.43%	4.59%
	M5				M6			
C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio	P1	P2	P3	Promedio
0	4%	1.03%	1.4%	2.14%	1.86%	3.03%	2.93%	2.61%
0.20%	2.53%	1.76%	2.96%	2.42%	2.4%	2.53%	1.7%	2.21%
0.40%	1.93%	1.63%	2.4%	1.99%	1.86%	1.5%	1.53%	1.63%
0.60%	1.7%	1.2%	1.8%	1.57%	1.63%	1.76%	1.73%	1.71%

El rendimiento del alga para la producción de alginato a concentraciones de formaldehído de 0, 0.2%, 0.4%, 0.6% por punto muestreado en el periodo de tres meses dio como resultado una variación entre 1.76% hasta 9.36% con un valor promedio de 4.31% .

9.1. Muestreo 1

El mayor rendimiento se observa en una concentración de 0.2% de formaldehído en los tres puntos de muestreo con un promedio de 6.54%, el mayor rendimiento fue de 7.48% el cual se encontró en el punto dos.

El rendimiento del alga para formar alginato de sodio disminuyó a mayores concentraciones de formaldehído en los tres puntos a partir del 0.2% de formaldehído.

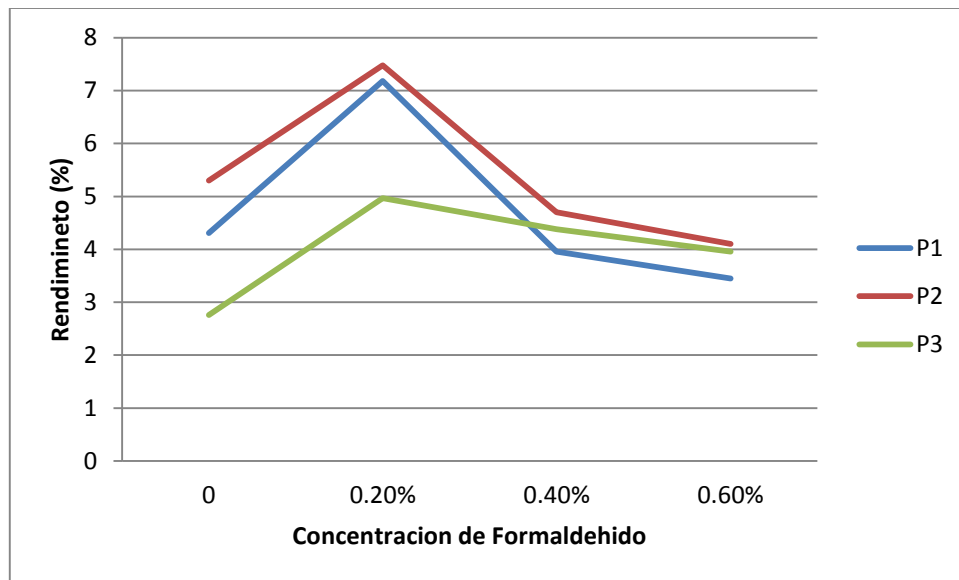


Figura 20. Muestreo 1, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto con las diferentes concentraciones de formaldehído.

Tabla 4. Muestreo 1, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.

C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio
0	4.31	5.3	2.76	4.12
0.20%	7.18	7.48	4.97	6.54
0.40%	3.96	4.7	4.38	4.35
0.60%	3.45	4.1	3.96	3.84

9.2. Muestreo 2

En el segundo muestreo realizado se observa que el mayor rendimiento de las muestras se presentó en una concentración de 0.2%, logrando en promedio 2.81% de rendimiento y obteniendo el mayor en el punto tres con un 3.86%.

El rendimiento del alga para formar alginato de sodio disminuyó a mayores concentraciones de formaldehído en los tres puntos a partir del 0.2% de formaldehído.

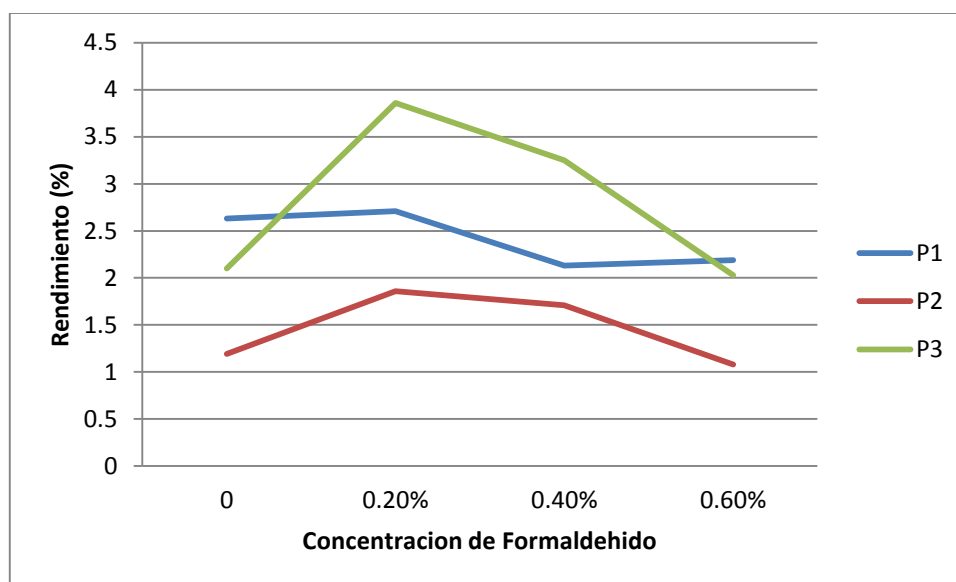


Figura 21. Muestreo 2, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehído.

Tabla 5. Muestreo 2, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.

C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio
0	2.63	1.19	2.1	1.97
0.20%	2.71	1.86	3.86	2.81
0.40%	2.13	1.71	3.25	2.36
0.60%	2.19	1.08	2.03	1.77

9.3. Muestreo 3

En el tercer muestreo se observa que el mayor rendimiento de las muestras se presentó en una concentración de 0.2% de formaldehído consiguiendo en promedio 6.32% de rendimiento y obteniendo el mayor en el punto uno con un 9.36%.

El rendimiento del alga para formar alginato de sodio disminuyó a mayores concentraciones de formaldehído en los tres puntos a partir del 0.2% de formaldehído.

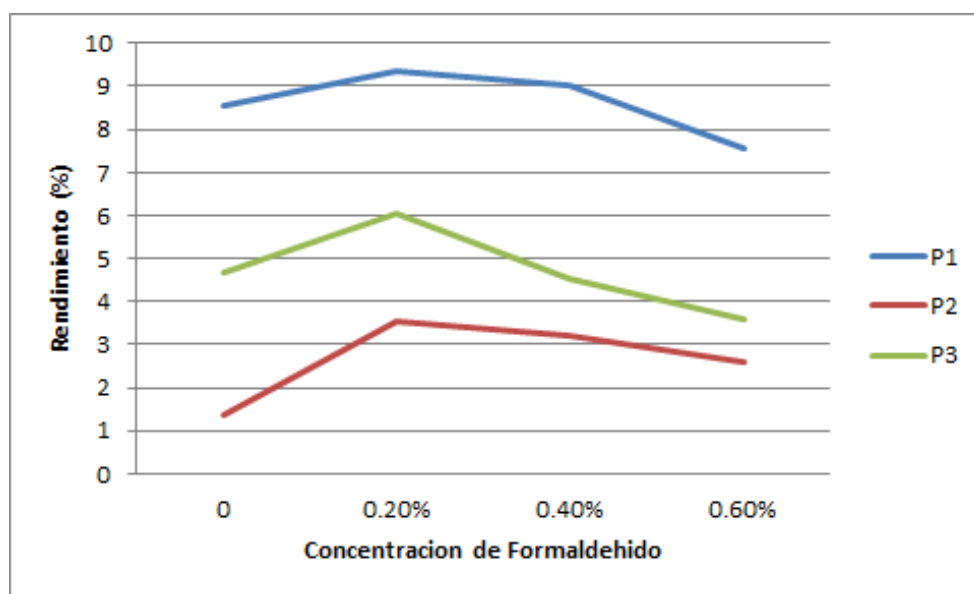


Figura 22. Muestreo 3, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehído.

Tabla 6. Muestreo 3, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.

C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio
0	8.53	1.36	4.66	4.85
0.20%	9.367	3.53	6.06	6.32
0.40%	9	3.2	4.53	5.58
0.60%	7.56	2.6	3.6	4.59

9.4. Muestreo 4

En el cuarto muestreo se observa que el mayor rendimiento de las muestras se presentó en una concentración de 0.2% logrando en promedio 5.18% de rendimiento y consiguiendo el mayor en el punto dos con un 6.43%.

En los puntos 1 y 2 hay una disminución del rendimiento de obtención del alginato de sodio a concentraciones mayores de 0.2% de formaldehído a diferencia del punto 3 que parece mantener un rango entre 3% y 2% de rendimiento.

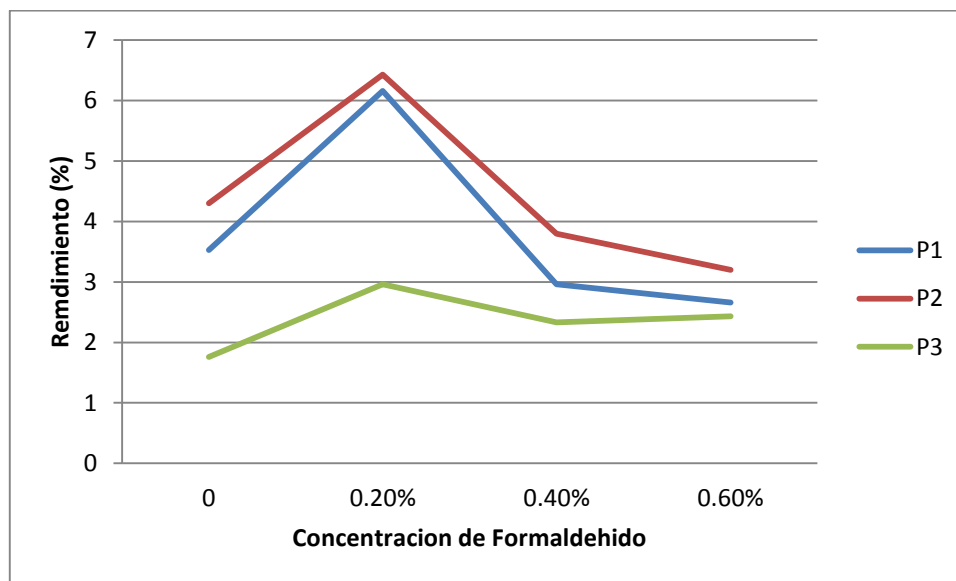


Figura 23. Muestreo 4, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehído.

Tabla 7. Muestreo 4, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.

C.Formaldehido	P1	P2	P3	Promedio
0	3.53	4.3	1.76	3.20
0.20%	6.16	6.43	2.96	5.18
0.40%	2.96	3.8	2.33	3.03
0.60%	2.66	3.2	2.43	2.76

9.5. Muestreo 5

En el quinto muestreo realizado se puede observar que el rendimiento máximo fue de 4 % en el punto 1 sin formaldehído, en el punto 2 y 3 el rendimiento máximo se dio en la concentración de 0.2% de formaldehído y el promedio fue de 2.42%, se puede observar que hay una disminución del rendimiento en los 3 puntos de muestreo en concentraciones mayores a 0.2 %.

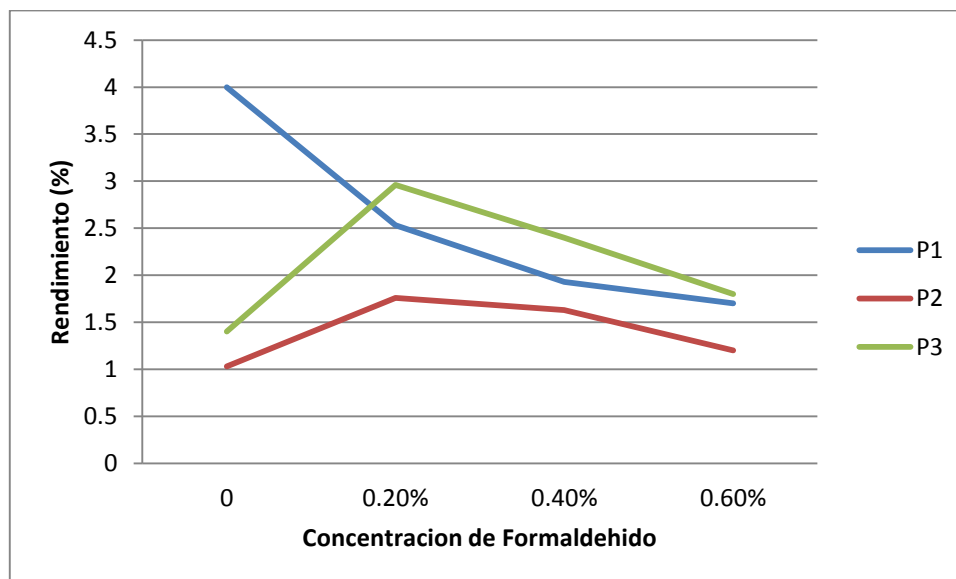


Figura 24. Muestreo 5, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehído.

Tabla 8. Muestreo 5, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.

C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio
0	4	1.03	1.4	2.14
0.20%	2.53	1.76	2.96	2.42
0.40%	1.93	1.63	2.4	1.99
0.60%	1.7	1.2	1.8	1.57

9.6. Muestreo 6

En el sexto muestreo los puntos 1 y 3 obtuvieron un rendimiento mayor sin concentraciones de formaldehído a diferencia del punto 1 que la obtuvo con una concentración del 0.2% disminuyendo a mayor concentración de formaldehído.

El mayor rendimiento en promedio se obtuvo sin formaldehído el cual fue de 2.61%.

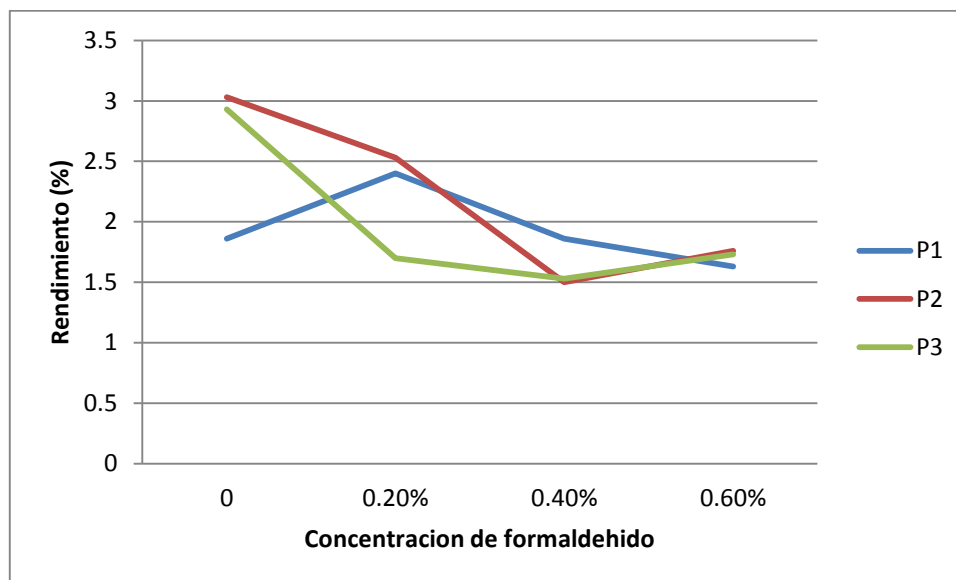


Figura 25. Muestreo 6, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio para cada punto de muestreo con las diferentes concentraciones de formaldehído.

Tabla 9. Muestreo 6, resultado del rendimiento (%) de alginato de sodio.

C.Formaldehído	P1	P2	P3	Promedio
0	1.86	3.03	2.93	2.61
0.20%	2.4	2.53	1.7	2.21
0.40%	1.86	1.5	1.53	1.63
0.60%	1.63	1.76	1.73	1.71

La biomasa total para el área en el cual se tomaron las muestras en el primer muestreo fue de 14.996 kg/m². En el primer punto fue de 1.749kg/ m², en el segundo de 0.417 kg/ m² y en el tercero de 12.830 kg/ m², haciendo un promedio de 4.998 kg/ m².

10. Discusión

Estudios demuestran (Yabur, 2005) que la producción de alginato en las algas cafés (*Sargassum sinicola*) en el estado de Baja California tiene un rendimiento aproximado del 15%; Arvizu (1995) con algas cafés *Macrocystis pyrifera* obtuvo un rendimiento de 28% esto se debe al tipo de alga con la cual trabajan, ya que *Macrocystis pyrifera* es un alga de hasta 30 metros de longitud y por el tamaño y características almacena una mayor cantidad de polisacárido en su biomasa. El rendimiento de las algas en el presente trabajo utilizando una concentración de 0.2% de formaldehído y un pH 4 en la pre-extracción ácida fue bajo a lo que se esperaba, ya que se obtuvo un rendimiento promedio de 4.31%, logrando un rendimiento máximo de 9.36% en el cuarto muestreo.

La función del formaldehído es suavizar y decolorar el tejido del alga lo que facilita que en la pre-extracción ácida el ácido algínico del alga pase a ser una solución de alginato soluble, por lo que se esperaba que a mayor concentración de formaldehído se obtenga un mejor rendimiento del producto final pero en los resultados se observó que a una concentración de 0.2% de formaldehído se obtuvo un mejor rendimiento del alga y a mayores concentración de formaldehído el rendimiento disminuía (Yabur, 2005).

Al realizar una pre-extracción ácida con un pH de 2 se obtiene un mejor rendimiento pero se utiliza una cantidad mayor de ácido clorhídrico (Yabur, 2005).

En cuanto a la pre-extracción ácida, al adicionar ácido clorhídrico a la solución para obtener un pH 4, no se obtuvo un mejor rendimiento de alginato ya que al bajar el pH de la solución a 2 se observó que el rendimiento incrementa considerablemente logrando obtener un rendimiento entre un 15% y del 25%.

Además las algas tienen muchas otras aplicaciones como fuente directa de alimento, medicamentos, forraje y fertilizantes. En el campo de la energía, algunas especies de algas empiezan a considerarse como un medio productor de material fermentable para la producción de gas metano de carácter comercial y no solo pueden ser utilizadas como materia prima para la extracción industrial de ficocoloides -alginatos, agar-agar y carragenanos, entre otros, (Hernández-Carmona, et. al., 2009). El aprovechamiento que a las algas cafés se le puede dar es muy grande y variada que puede ser de gran beneficio para la comunidad en la costa maya de Quintana Roo.

En los resultados obtenidos se observa una disminución en el contenido de alginato en las algas puede ser por varias razones como lo describe Chauchan, (1970); Aponte de Otaola, (1983); Hernandez-Carmona, (1985), “El contenido de alginato del género *Sargassum* muestra una variación estacional de acuerdo con los diferentes estadios de desarrollo de la planta, con un mayor contenido cuando la planta alcanza su madurez vegetativa”; por lo tanto suponemos que las algas recolectadas en la última etapa de la toma de muestras entre el mes de julio y agosto (Figura 26) fueron algas que no habían alcanzado su madurez vegetativa, por lo que podría realizarse una investigación para determinar las estaciones en las cuales la producción de alginato tenga un mayor rendimiento.

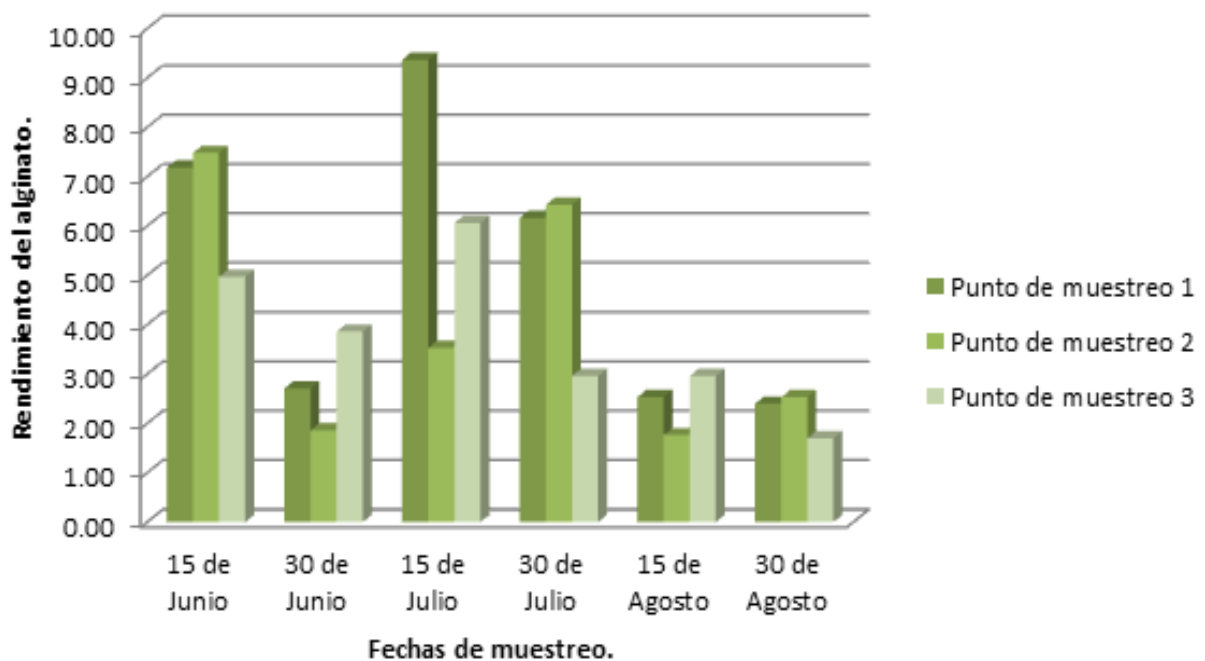


Figura 26. – Rendimiento de alginato (%) de los puntos 1, 2 y 3 en los 6 periodos de muestreo.

El resultado de la biomasa vegetal de arribazón en promedio fue de 4.998 kg/m² tomando en cuenta que esta cantidad se encontrara en cada metro de playa perpendicular a la línea de costa y homogénea en los 108 km de litoral de la zona Costa Maya se estima que se obtendrían 539 784 kg/m² de biomasa vegetal de arribazón, considerando lo encontrado por Dreckmann y Sentíes 2013, en donde “el taxón más abundante fue el género *Sargassum* con 7 especies y más del 80% del peso seco por cada kilogramos colectado, lo que coincide con lo encontrado por De Oliviera et al 1979 para Brasil” y Moreira, Cabrera y Suarez 2006, determinaron que la composición taxonómica global de la arribazón está formada en un 91% por 13 especies del genero *Sargassum* para Cuba. De cada 1 kg de alga húmeda se obtuvieron 178.5 g en promedio de alga seca, de cada 30 g de alga seca obtuvimos 1.293 g de alginato en promedio, lo que nos daría que en cada 1 kg de alga seca hay 43.1 g de alginato, eso nos daría como resultado que de los 539 784 kg de alga húmeda podríamos obtener 96 351 kg de alga peso seco, de los cuales tendríamos 4152.72 kg de alginato el cual tiene un valor de 11.6 dólares por kg dando un total por su venta de 48 171.55 USD por la venta de alginato. Por lo que se puede prever que hay una biomasa considerable de esta especie para su explotación.

11. Conclusiones

El contenido de alginato en las algas está presente, el método para la extracción de éste polisacárido es muy importante para obtener un buen rendimiento y se tiene que estandarizar para poder llevar este producto a una producción en masa y la relación gasto/beneficio sea positiva para la extracción.

La concentración de 0.2% de formaldehído es la concentración óptima para la extracción de alginato de sodio de las algas cafés de la Costa Maya de Quintana Roo.

Tomando en cuenta la estimación de biomasa vegetal, se contribuiría a la disminución de la contaminación visual, retirando esa cantidad de biomasa de las playas y dándole un valor agregado en este caso al utilizar esta biomasa para la extracción de alginato de sodio.

12. Recomendaciones

Como primera recomendación se propone realizar una extracción de Alginato, una pre-extracción acida manejando un pH 2 para verificar el rendimiento del alga.

Realizar una investigación estacional tomando muestras cada mes durante un año para determinar el o los periodos en los cuales las algas se encuentren con una madurez vegetativa y por consiguiente se obtenga un mejor rendimiento en la producción de alginato.

Determinar los factores que condicionan las probabilidades de arribazones y la estacionalidad en las cuales arriban.

Es importante seguir abundando en este tema ya que se tiene poca información acerca de las arribazones para la extracción de ficocoloides en este caso alginato.

13. Bibliografía

Academia Mexicana de Ciencias (2011)
<http://www.amc.edu.mx/biotecnologia/biotecnologia.htm>.

Baranov, V., Locev, v., Guernet, N., Kuchumova, R., Kuchumov, A. (1980) *Method to obtain sodium alginate*, Patent 707, 561, USSR

Bolivar, F., 2004, *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, El Colegio Nacional, Rosa Campos de la Rosa, ed. 2, pp. 9 - 13 México.

Casas, M., Carmona, H. (1989) *Desarrollo de la tecnología para la producción de alginato de sodio en mexico*, 2da consulta de expertos sobre tecnología de productos pesqueros en america latina (pp. 127 – 132) Montevideo, Uruguay.

Clark, D., Steiner A. (1949) *Production of fibrous water soluble alginates*, US Patente 2, 277, 861.

Clark, D., Green, H. (1936) *Alginic acid and process of making same*, US Patent 2,036,922.

Coppi G., Iannuccelli, V., Leo, E., Bernabei, M., Cameroni, R. (2001) Chitosan-Alginate microparticles as a protein carrier, *Drug development and industrial pharmacy*, vol 27 (pp. 393 – 400), Modena, Italia.

Cubas, P. (2008) Phaeophyta (algas café), Recuperado el 12 de diciembre de 2013 de http://www.aulados.net/Botanica/Curso_Botanica/Algas_pardas/7_Phaeophyta_texto.pdf.

Dawes, C. (1986) *Botánica Marina*, México: Limusa, ed. 1, (pp. 673) México, DF, Mexico.

Degusa (2003) www.degusa-foodingredients.com.

Diaz, A., Acevedo, F. (1999) Scale up strategy for bioreactors with Newtonian and non Newtonian broths, *Bioprocess Engineering*, 21 (1), 21 - 23.

Dirección General de Desarrollo Urbano, Medio Ambiente y Obras Públicas (2008) *Reglamento de imagen urbana del centro de población de Mahahual*, Othón P. Blanco, Quintana Roo. Recuperado el 13 de marzo de 2013 de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/cds2008/cdcompiladernun/pdf/6%20REGQR.pdf>.

Bashford, L., Thomas, R., Woodman, F. (1950) Manufacture from Brown marine algae, *Journal of the society of chemical industry*, 69 (1), 337 – 343.

Datlubuit, M., Cisneros, H. B., & Valenzuela, E. (2007) *Globalización y sustentabilidad. El turismo en el sur de Quintana Roo*, Cuernavaca: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, 99 – 124, Cuernavaca, Morelos, México.

- Dreckmann, K M., A. Senties (2013) *Las arribazones de algas marinas en el caribe mexicano; evento biológico natural o basura en las playas*, CONABIO, Biodiversitas, 107 (1), 7 – 11.
- Duville, C., Duville, J., Panzarasa, E. (1974) *Estudios básicos sobre ácido algínico de algas pardas del litoral patagónico, pretratamiento ácido, su influencia y aplicación*, CIBIMA, 16 (1), 16, Argentina.
- Ek, E. (2012) *Migración y dengue en Mahahual, Quintana Roo, México*, Recuperado el 06 de febrero de 2014, de <http://www.uh.cu/centros/cemi/wp-content/uploads/2012/02/Migraci%C3%B3n-y-dengue-en-Mahahual-Quintana-Roo-M%C3%A9xico.pdf>
- Espín, G., Castañeda, M., Guzmán, J., Moreno, S. (2000) Gacs sensor kinase regulates alginate and poly-b-hydroxybutyrate production in *Azotobacter vinelandii*, *Journal of Bacteriology*, 182 (9), 2624 – 2628, Cuernavaca, Morelos, México.
- Fiaes. (2006), *Monitoreo biológico del alga acanthophora spicifera en la zona del arrecife de los cobanos*, Recuperado el día 1 de mayo de 2013, de <http://ebookbrowse.com/3-clasificacion-taxonomica-distribucion-importancia-algas-pdf-d395665749>.
- Grand Costa Maya.(s.f).Recuperado el 22 de abril de 2013, de http://www.grandcostamaya.com/maps/guia_turistica_gcm_es.pdf.
- Green, H. (1936) *Process for making, alginic acid and product*, US Patent 2,036,934.
- Hernández-Carmona, G., Aguirre-Vilchis, M. (1987) *Propiedades de intercambio iónico de Macrocystis pyrifera durante la pre-extracción ácida, para la extracción de alginatos*, Inv. Mar. CICIMAR, 3(2), 53 - 64, México.
- Hernández-Carmona, G., Rodríguez, Y. (1990) *Los alginatos: un producto útil a partir de algas marinas*, CICIMAR, Boletín 4, 1 – 1, Mexico.
- Hernández-Carmona, G., Reyes, R., Rodríguez, Y., Murillo, J., Arvizu, D., Muñoz, M. (2009) Avances Tecnológicos en la producción de alginatos en México, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 13, 155 – 168, Mexico.
- Hernández-Carmona, G., Rodríguez, Y., Torres, J., Sánchez, I., Vilchis, M., Gracia, O. (1989) Evaluación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta Laminariales) en Baja California, *Ciencias Marinas*, 15 (4), 117 – 140, La Paz, Baja California Sur, México.
- Hernández-Carmona, G., Vilchis, M., y Rodríguez-Montesinos, Y. (1992) Recirculación del ácido residual de la etapa de extracción en el proceso de obtención de alginato de sodio, *Ciencias Marinas*, 18(1), pp. 125 – 137, México.
- Honorable Ayuntamiento de Othón P. Blanco. Decreto por el cual se modifica el Programa de Desarrollo Urbano de Mahahual, publicado en el Periodico Oficial el 07 de febrero de 2008.

INEGI Censo 2010 (2011) <http://www.censo2010.org.mx/>.

Espinoza, J., Hernandez, E., Zerluche, J., Meave, M. E. (2003) Agar de dos especies coexistentes de Gracilaria (Gracilariaceae) del Caribe mexicano, *Ciencias Marinas*, 29 (2), 211 – 227

Legloahec, V., Herter, J. (1938) *Method of treating seaweeds*, US Patent 2, 128, 551.

Lemus, A y M. Aponte (1987) Estudio de biomasa de regeneración en algunos rancios naturales de agarofitos en el oriente de Venezuela, *Bol. Inst. Ocean*, Universidad de Oriente 26 (1&2), 37 - 44, Venezuela.

Lukachyov, O., Pochkalov, V. (1965) *Method to obtain alginate from brown algae*, Patent 200, 416, USSR.

Mata, J. (2006) *Caracterización de los exopolisacáridos producidos por microorganismos halófilos pertenecientes a los géneros Halomonas, Alteromonas, Idiomarina, Palleronia y Salipiger*, Tesis (Directores: Dra. Emilia Quesada Arroquia y Dra. Victoria Béjar Luque).

Marshall, Darley, W. (1987) *Biología de las algas enfoque fisiológico*, LIMUSA, México.

McHugh, D. (1987) Production and Utilization of products from commercial seaweed, FAO fisheries technical paper, (288) 189, Roma, Italia.

McHugh, D. (1987) Production, properties and uses of alginates, FAO Fisheries Technical Paper, (288), 58 – 115.

McHugh, D. (2003) A guide to the seaweed industry, FAO Fisheries Technical Paper, 441, 105.

Merino, M. (1986) Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe Mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *Ant. Inst. Cienc. Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. Mexico, 13 (2), pp. 31-46.

Moreira, L., Cabrera, R., Suarez, A. M. (2006) Evaluación de la biomasa de macroalgas marinas del genero *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales), *Revista de Investigación Marina*, 27 (2), pp. 115 – 120.

Mesa, J., Valle, M., Brossard, L., Guerrero, J. (1998) Optimización de la etapa de Extracción Básica de alginato de sodio, *Tecnología Química*, 18, 90 – 96, Cuba.

Nagaoka, M., Shibata, H., Kimura, I., Hashimiti, S. (2000) Anti-Ulcer effects and biological activities of polysaccharides from marine algae, *Biofactors*, 12 (1), pp. 267 – 274.

Nirmal-Kumar J.I., Kumar R.N., Patell K., Viyol S., Bhoi R. Nutrien, R. (2009) Composition and Calorific Value of Some Seaweeds from Bet Dwarka, *Our Nature*, 7, 18 – 25. West Coast of Guajarat, India

Oliveira, Ugadim, Y., de Paula, E. (1979), Associated epibiota on *Sargassum* floating on the waters of the Brazilian current, Biogeographical Remarks, *Bol. Botanica*, 7, 5 - 9

Programa de Desarrollo Urbano de Mahahual. Decreto aprobatorio publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado con fecha 17 de marzo del 2005.

Protección Civil (2013) <http://proteccioncivil.qroo.gob.mx/Bienvenida.php>.

Real Academia Española (2001) Disquisición. En Diccionario de la lengua española, ed. 22, Recuperado de <http://lema.rae.es/drae/?val=algas>

Reed, D., (1994), Giant Forest of the sea, *Natural Science*, pp. 202 – 207.

Sabra, W., Zeng, A., Lunsdorf, H., Deckwer, W. (2000) Effect of oxygen on formation and structure of *Azotobacter vinelandii* alginate and its role in protecting nitrofenase, *American Soc. Of Microbiology*, 66, 4037-4044.

Salomon, A. (2009) *La Biotecnología en México*, Comercio Exterior, 58 (10), 777 – 783.

Suárez Morales, E., E. Rivera Arriaga (1998) *Zooplankton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo*, México. *Hidrobiológica*, 8 (1), pp.19-32.

Van den Hoek, C., Mann, D. G., Jahns, H.M (1995) *Algae, An introduction to phycology*. Cambridge University Press, pp. 623 Cambridge, UK.

Yabur, R. (2005) *Producción y propiedades de alginato de Sargassum Sinicola (Setchell y Gardner) y su aplicación en inmovilización celular*, Disertación Doctoral no publicada, Instituto Politécnico Nacional.

Yabur, R., Bashan, Y., Hernández, G. (2007) Alginate from the Macroalgae *Sargassum Sinicola* as a novel source from microbial immobilization material in wastewater treatment and plant growth promotion, *Journal of applied phycology*, 19, 43 – 53.