



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE QUÍMICA

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN POLÍMERO DE  
ORIGEN NATURAL DERIVADO DE CEFALOTÓRAX Y  
EXOESQUELETOS DE CAMARÓN

## **TESIS MANCOMUNADA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICO DE ALIMENTOS  
P R E S E N T A N :

**ANA MARÍA MENDOZA MÁRQUEZ**

**ÓSCAR ARIAS TORRES**



MEXICO, D.F.

2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

<b>PRESIDENTE</b>	Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa
<b>VOCAL</b>	M. en C. Lucía Cornejo Barrera
<b>SECRETARIO</b>	QFB María de Lourdes Osnaya Suárez
<b>PRIMER SUPLENTE</b>	M. en C. Rolando Salvador García Gómez
<b>SEGUNDO SUPLENTE</b>	Dra. Marisela Bernal González

**LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN:**

- (I) Laboratorios 301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química, UNAM
- (II) Laboratorio de Pruebas Mecánicas del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM

**ASESOR DEL TEMA**

Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa \_\_\_\_\_

**SUPERVISOR TÉCNICO**

M. en C. Rolando Salvador García Gómez \_\_\_\_\_

**SUSTENTANTES:**

Ana María Mendoza Márquez \_\_\_\_\_

Oscar Arias Torres \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Química que nos dieron la oportunidad de formar parte de ellas. A la asesora del trabajo de tesis: la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa por su gran apoyo e interés en realizar una buena investigación en este trabajo. Al M. en C. Rolando Salvador García Gómez por todo el apoyo técnico brindado durante nuestra estancia en los Laboratorios 301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM, por sus sugerencias y por el tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo. Al Dr. Ronny Flores Ortega, profesor de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, America del Sur, por la ayuda brindada desde el inicio de esta investigación. A la M. en C. Lucía Cornejo Barrera, a la QFB María de Lourdes Osnaya Suárez y a la Dra. Marisela Bernal González por haber revisado el trabajo final de tesis. Al Dr. Ricardo Vera y al Ing. Ernesto Sánchez Colín del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM por permitirnos trabajar en su Laboratorio de Pruebas Mecánicas. Al Ing. Adrián Palma por su valioso apoyo en el análisis de los datos obtenidos de pruebas mecánicas y por su revisión del presente trabajo.

Esta investigación fue parcialmente financiada por el Proyecto PAPIME Clave PE101709, "Apoyo a la enseñanza experimental de las asignaturas terminales de las carreras que se imparten en la Facultad de Química de la UNAM", de la DGAPA de la UNAM.

## DEDICATORIA

A mis padres:  
Reyna y Juan,  
que con su amor, esfuerzo e infinita paciencia me  
han apoyado siempre ¡Mil gracias!  
Para ellos mi respeto y admiración...

A mis hermanos, grandes ejemplos para mí:

EIEEnA  
ReYnA  
PiLaR  
JuAn  
y  
AlEjAnDrO

A Oscarito  
por su amistad y por compartir conmigo el esfuerzo para realizar este  
trabajo...

A Ale, Juan, Maggy, Mau, Brenda, Desi, Tere y Gira  
por su amistad y el tiempo compartido durante la carrera y por lo que  
aún nos falta compartir...

Ana María M. M.

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a mis padres y toda mi familia.

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

Para mis padres Florencio y Concepción, por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos. Ellos me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio. Me han ayudado a lograr una meta más: mi carrera profesional.

Para mis hermanas Ana Patricia y Paola las cuales me han dado el último empujón para terminar este trabajo, así como también mis tíos Mario y Leticia y a las familias Monroy Romero, Ramírez Martínez y Reyes Díaz, con quienes he compartido momentos muy felices durante mi formación profesional.

Para mi gran amiga y compañera de tesis Anita y a su familia, que con su ayuda, trabajo, esfuerzo y desveladas, logramos terminar esta investigación y que hasta ahora seguimos y seguiremos siendo amigos.

Y por último, pero no menos importantes, a mis amig@s que estuvieron conmigo desde el primer semestre de la carrera aconsejándome y apoyándome; así como a mis amig@s de la ENP No. 8.

A todos ellos:

Muchas gracias de todo corazón.

Oscar Arias

## ÍNDICE

	Página
<b>ABREVIATURAS UTILIZADAS</b>	11
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	12
<b>RESUMEN</b>	15
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	16
1.1 Problemática	16
1.2 Hipótesis	18
1.3 Objetivos	18
1.3.1 <i>Objetivos general</i>	18
1.3.2 <i>Objetivos particulares</i>	18
<b>2. FUNDAMENTOS</b>	19
2.1 Química de la quitina	20
2.2 Los envases como problema ecológico	21
2.3 Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables	22
2.4 Bioenvase	23
2.4.1 <i>Definición</i>	23
2.4.2 <i>Integración del bioenvase en la vida actual</i>	23
2.5 Bioesponjas	24
2.5.1 <i>Posibles usos de la esponja de quitina</i>	24
2.6 Pruebas mecánicas	27
2.6.1 <i>Ensayo de tensión y diagrama de tensión-deformación</i>	27
2.6.2 <i>Límite elástico</i>	29
2.6.3 <i>Módulo de elasticidad o Módulo de Young</i>	31
2.6.4 <i>Energía de tensión de ruptura y resistencia máxima a la tensión</i>	32
2.6.5 <i>Porcentaje de elongación en el punto de ruptura</i>	32
<b>3. METODOLOGÍA</b>	34
3.1 Extracción de quitina	34
3.2 Materia prima utilizada	34

3.3	Obtención de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado (EPD)	35
3.4	Preparación del disolvente y disolución de quitina	35
3.4.1	<i>Preparación del disolvente MAC</i>	35
3.4.2	<i>Disolución de quitina</i>	36
3.5	Formación de esponjas de quitina (SPQ) por el método de formación de espuma y precipitación	37
3.6	Caracterización mecánica de la esponja de quitina	37
3.6.1	<i>Dimensiones</i>	37
3.6.2	<i>Pruebas mecánicas</i>	38
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	40
4.1	Obtención de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado (EPD)	40
4.2	Características del exoesqueleto y cefalotórax de camarón empleado para la extracción de quitina	40
4.3	Disolución de quitina	41
4.4	Obtención de esponjas de quitina (SPQ)	43
4.5	Ensayo de tensión para la caracterización mecánica de esponjas de quitina	45
4.6	Discusión final	53
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
Anexo A.	Curvas de tensión-deformación de esponjas de quitina (SPQ) y poliestireno espumado (PS)	60
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	62



## ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y GRÁFICOS

Página

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Ensayos realizados para obtener quitina en solución utilizando la relación 1:10 en masa de EPD/MAC	36
<b>Tabla 2</b>	Porcentaje de recuperación de harina de EPD a partir de exoesqueletos de camarón frescos	40
<b>Tabla 3</b>	Obtención de quitina en solución (QUIMAC) utilizando diferentes cantidades de harina de EPD	42
<b>Tabla 4</b>	Masa de esponja de quitina recuperada (SPQr) con diferentes concentraciones de harina de EPD	43
<b>Tabla 5</b>	Resultados del ensayo de tensión de esponja de quitina (SPQ)	46
<b>Tabla 6</b>	Resultados del ensayo de tensión de poliestireno espumado (PS)	47
<b>Tabla 7</b>	Propiedades mecánicas de las esponjas de quitina (SPQ)	48
<b>Tabla 8</b>	Propiedades mecánicas del poliestireno espumado (PS)	49
<b>Tabla 9</b>	Propiedades mecánicas de esponja de quitina (SPQ), SPQ (Flores, 2008) y poliestireno espumado (PS)	52

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Diagrama de bloques del proceso de obtención de quitina	17
<b>Figura 2</b>	Estructura de la quitina: Poli ( <i>N</i> -acetil-D-glucosamina)	20
<b>Figura 3</b>	Logotipo de compostabilidad	23
<b>Figura 4</b>	Muestra típica de sección circular para el ensayo de tensión-deformación	28
<b>Figura 5</b>	Ensayo de tensión-deformación	28
<b>Figura 6</b>	Gráfica típica tensión vs deformación	29
<b>Figura 7</b>	Obtención del límite elástico cuando se genera una deformación del 0.2 %	30

<b>Figura 8</b>	Módulo de elasticidad o módulo de Young en la curva tensión-deformación	31
<b>Figura 9</b>	Diagrama de bloques para la obtención de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado (EPD) a partir de CC fresco	38
<b>Figura 10</b>	Diagrama de bloques para la obtención de esponja de quitina a partir de harina de EPD	39
<b>Figura A1</b>	Análisis de tensión de esponja de quitina (SPQ)	60
<b>Figura A2</b>	Análisis de tensión de poliestireno espumado (PS)	61

### **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

<b>Fotografía 1</b>	Precipitación de quitina en forma de esponja	54
<b>Fotografía 2</b>	Esponja de quitina circular flexible	54
<b>Fotografía 3</b>	Esponja de quitina circular de aproximadamente 9 cm de diámetro	54
<b>Fotografía 4</b>	Probetas de SPQ utilizadas en el ensayo de tensión	54
<b>Fotografía 5</b>	Esponjas de quitina, rectangular de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo	54
<b>Fotografía 6</b>	Esponjas de quitina, rectangular flexible de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo	54
<b>Fotografía 7</b>	Esponjas de quitina, rectangular de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo	55
<b>Fotografía 8</b>	Esponjas de quitina, rectangular flexible de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo	55
<b>Fotografía 9</b>	Esponjas de quitina, rectangular de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo	55
<b>Fotografía 10</b>	Esponjas de quitina, rectangular flexible de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo	55

### **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1</b>	Efecto de la cantidad de harina de EPD sobre la obtención de quitina en solución (QUIMAC)	43
------------------	---	----

<b>Gráfico 2</b>	Efecto de la cantidad de harina de EPD sobre la recuperación de esponja de quitina (SPQ)	44
<b>Gráfico 3</b>	Curva de tensión-deformación de esponja de quitina (SPQ)	48
<b>Gráfico 4</b>	Análisis de tensión de esponja de quitina (SPQ) y poliestireno espumado (PS)	50
<b>Gráfico 5</b>	Comparación de las propiedades mecánicas de esponja de quitina (SPQ), SPQ (Flores, 2008) y poliestireno espumado (PS)	51
<b>Gráfico 6</b>	Comparación del porcentaje de elongación de esponja de quitina (SPQ), SPQ (Flores, 2008) y poliestireno espumado (PS)	53

## ABREVIATURAS UTILIZADAS

<b>A</b>	Área de la sección transversal de la probeta en $\text{cm}^2$
<b>CC</b>	Cefalotórax de camarón
<b>CPD</b>	Cefalotórax parcialmente desproteínizado
<b>e</b>	Deformación total en cm
<b>E</b>	Módulo de elasticidad en $\text{kgf/cm}^2$
<b>EPD</b>	Exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado
<b>f</b>	Esfuerzo en el material en $\text{kgf/cm}^2$
<b>HC</b>	Harina de camarón
<b>l</b>	Longitud de la probeta en cm
<b>L</b>	Longitud final
<b>L<sub>0</sub></b>	Longitud inicial
<b>MAC</b>	<u>M</u> etanol- <u>A</u> gua-cloruro de <u>C</u> alcio
<b>MPa</b>	Mega pascales (Unidades de fuerza equivalentes a 1000 kPa)
<b>PS</b>	Poliestireno por sus siglas en inglés
<b>P</b>	Fuerza aplicada en kgf
<b>QUIMAC</b>	Solución de quitina en disolvente <u>M</u> etanol- <u>A</u> gua-cloruro de <u>C</u> alcio
<b>s</b>	Deformación unitaria en cm/cm
<b>SPQ</b>	Esponja de quitina
<b>SPQr</b>	Esponja de quitina recuperada

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>Carga</b>	Aplicar una carga a un material es aplicar una fuerza sobre una determinada superficie y en cierta dirección
<b>Cefalotórax</b>	Parte del cuerpo de los crustáceos y arácnidos que está formada por la unión de la cabeza y el tórax
<b>“Composta”</b>	Palabra derivada del latín <i>compositum</i> , aplicada en México para la palabra recientemente aceptada en el Diccionario de la Real Academia Española <i>compost</i> , humus obtenido artificialmente por descomposición bioquímica de residuos orgánicos
<b>Deformación</b>	Cambio por la longitud de la unidad en una dimensión lineal de una pieza o probeta, normalmente expresado en un porcentaje de deformación; tal como se usa en la mayoría de los ensayos mecánicos, se basa en la longitud original de la probeta. La deformación natural o verdadera se basa en la longitud instantánea, y es igual a: $\ln X / l_0$ , donde $X$ es la longitud instantánea y $l_0$ es la longitud original de la probeta. La deformación de cizalla o esfuerzo de corte es el cambio en el ángulo entre dos líneas originalmente en ángulos rectos
<b>Deformación plástica</b>	Deformación permanente en un material
<b>Deformación unitaria</b>	Cambio de dimensión por unidad de longitud
<b>Ductilidad</b>	Es una medida de la cantidad de deformación plástica que puede darse en un material antes de que éste se rompa
<b>Elasticidad</b>	Capacidad de un material de volver a su forma original cuando se suprime la carga que causa la deformación
<b>Energía</b>	Medida del trabajo hecho sobre una probeta durante un ensayo. La energía gastada entre dos puntos cualesquiera de un ensayo se mide como la superficie bajo la curva esfuerzo/deformación entre dichos puntos

<b>Esfuerzo</b>	Fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica
<b>Estricción</b>	Acción de estiramiento de la muestra que produce una reducción de tamaño en la parte media de la probeta (formación de cuello)
<b>Exoesqueleto</b>	Del griego ἔξω, fuera, y esqueleto. Dermatoesqueleto, piel o parte de ella engrosada y muy endurecida, ya sea por la acumulación de materias quitinosas o calcáreas sobre la epidermis, frecuentemente en forma de conchas o caparazones, como en los celentéreos, moluscos y artrópodos, ya sea por haberse producido en la dermis piezas calcificadas u osificadas, como son las escamas de los peces y las placas óseas cutáneas de muchos equinodermos, reptiles y mamíferos
<b>Extensómetro</b>	Instrumento para medir cambios en dimensiones lineales. También se denomina extensiómetro. Con frecuencia está basado en la tecnología de indicador de deformación
<b>Ley de Hooke</b>	El esfuerzo aplicado es directamente proporcional a la deformación. La ley de Hooke representa perfectamente el comportamiento elástico. No tiene en cuenta las propiedades de pérdidas dinámicas o plásticas
<b>Límite elástico</b>	El mayor esfuerzo que se puede aplicar a un material sin causar una deformación permanente. En el caso de los metales y otros materiales que tienen una sección en línea recta significativa en el diagrama carga/deformación, el límite elástico es aproximadamente igual al límite proporcional. En aquellos materiales que no muestran un límite proporcional significativo, el límite elástico es una aproximación arbitraria (límite elástico aparente)
<b>Quitina</b>	Polisacárido construido con unidades de acetilglucosamina Poli(N-acetil-D-glucosamina) que están unidas en forma beta-1,4 de la misma manera que las unidades de glucosa para construir la celulosa. Podría pensarse que la quitina es una

macromolécula de celulosa en la que un grupo hidroxilo está siendo reemplazado por un grupo acetilamino. Esto hace que los puentes de hidrógeno entre polímeros adyacentes conformen un material de mayor fuerza. La fuerza y flexibilidad de la quitina hacen que sea un material altamente valioso como hilo de sutura quirúrgica

**Quitina  
parcialmente  
desproteínizada**

Producto insoluble de extracciones acuosas en las que no se eliminan al 100% los componentes no quitinosos, como son los complejos caroteno-proteínicos y carbonatos (Singer y Wooten, 2003)

**Tenacidad**

Es la energía por unidad de volumen que el material puede absorber antes de romperse. La tenacidad es numéricamente igual al área bajo la curva esfuerzo-deformación unitaria

## RESUMEN

En los países productores o pescadores de camarón, tanto la cabeza como el exoesqueleto son subproductos que son desechados. Existen estudios sobre su aprovechamiento, pero casi todos ellos son del extranjero. En el marco de ellos, resulta importante buscar nuevas opciones de uso de estas materias primas desaprovechadas, en las zonas productoras y de captura de México. Uno de los posibles usos, es el de la extracción de quitina a partir de ambos subproductos, siendo ésta un producto estable en condiciones ambientales pero biodegradable cuando es depositado en la basura al estar en contacto con microorganismos. En este estudio se utilizaron los exoesqueletos de camarón para realizar la extracción de quitina y obtener esponjas a partir de este biopolímero. En primer lugar se realizó una limpieza de los exoesqueletos con agua de la llave. Posteriormente, se licuaron para eliminar proteínas solubles, grasas, pigmentos y parte de los minerales. Finalmente, la pasta obtenida fue secada a 60°C durante 18 horas en estufa convencional y tamizada para obtener harina de exoesqueleto parcialmente desproteinizado (EPD). Posteriormente, la quitina fue disuelta y extraída de EPD utilizando un disolvente poco tóxico conformado por un mol de **Metanol**, cuatro moles de **Agua** y un mol de cloruro de **Calcio** (al que se le denominó disolvente **MAC-141** ©), a 25°C durante 48 horas. Con la quitina en solución (**QUIMAC**) se produjo una espuma agitando manualmente con varilla de vidrio. La espuma se colocó en un molde que se mantuvo en una cámara de humidificación (humedad relativa > 90%) durante 48 horas, con la finalidad de que el  $\text{CaCl}_2$ , absorbiera el agua del ambiente, favoreciendo la precipitación de la quitina en forma de esponja. Transcurrido este tiempo, el disolvente fue separado y la esponja lavada con agua destilada, secándose a temperatura ambiente. Finalmente, las esponjas obtenidas fueron sometidas al análisis de tensión para establecer las propiedades mecánicas: tensión de ruptura, % de elongación de ruptura, módulo de elasticidad, límite elástico y energía de tensión de ruptura y se compararon con las de un material sintético como el poliestireno espumado (PS). De esta manera, se estableció su posible uso como material biodegradable para la elaboración de recipientes para contener alimentos. Los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas de las esponjas de quitina (SPQ) fueron: tensión de ruptura 0.11 MPa, % de elongación de ruptura 33.93%, módulo de elasticidad 3.77 MPa, límite elástico 0.2 MPa y energía de tensión de ruptura 0.04 MPa. Para el caso del poliestireno espumado (PS) los valores obtenidos fueron los siguientes: tensión de ruptura 1.03 MPa, % elongación de ruptura 7.05%, módulo de elasticidad 29.38 MPa, límite elástico 1.2 MPa y energía de tensión de ruptura 0.05 MPa. Acorde con estos resultados será necesario adicionar un agente plastificante a las esponjas de quitina con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas para poder servir como alternativa a la espuma de poliestireno tradicional.



## **1. INTRODUCCIÓN**

De manera tradicional, sólo la parte abdominal de los camarones es aprovechada, lo que implica un desperdicio de un 30 a un 50% aproximadamente de la masa de cada organismo. Debido a la cantidad de camarón que se descabeza durante los viajes en alta mar y en las granjas camaroneras, son significativas las cantidades de cabeza y exoesqueleto que son depositadas en alta mar o que son descompuestas en tierra por no darles un uso adecuado. En el caso de la captura en alta mar, este desperdicio es devuelto al mar y, en el caso de las aguas protegidas y la acuicultura, es desechada en los alrededores de los centros de producción causando un impacto ecológico que puede alterar el ambiente (Cañipa y col., 1994).

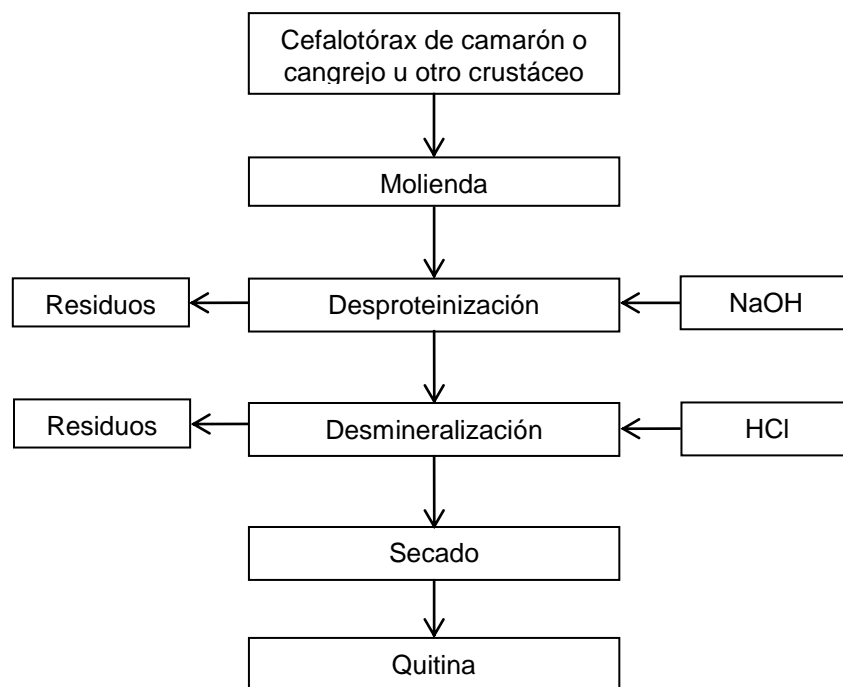
En los países productores o pescadores de camarón, tanto la cabeza como el exoesqueleto son subproductos que son desechados. Existen estudios sobre su aprovechamiento, pero casi todos ellos son del extranjero. En el marco de ellos, resulta importante buscar nuevas opciones de uso de estas materias primas desaprovechadas, en las zonas productoras y de captura en México. Uno de los posibles usos potenciales que se le puede dar a este “desperdicio”, es el de la extracción de quitina a partir de ambos subproductos, siendo ésta un producto estable en condiciones ambientales pero biodegradable cuando es depositado en tiraderos al estar en contacto con microorganismos (Barrera-Rodríguez y col., 2007).

### **1.1 Problemática**

En 2008 se reportó una producción de 187 mil toneladas de camarón de las cuales aproximadamente 128 mil toneladas, equivalentes al 69% del total, se produjeron por la vía del cultivo (SAGARPA, 2009) convirtiéndose cerca del 30% en un subproducto fuertemente aprovechable compuesto por cabezas y exoesqueletos (Cañipa y col., 1994). Una parte de este subproducto es convertida en harina, para después elaborar fertilizantes o alimentos para animales (SAGARPA, 2009), pero la mayor parte, son desechados causando un problema de contaminación ambiental.

Estos desechos contienen alrededor de 15% de quitina (Cañipa y col., 1994), un biopolímero que, por su naturaleza química, tiene muchos usos, que van desde la agricultura hasta las aplicaciones en la medicina (Seymour y Carear, 1998). Sin embargo, no es ampliamente utilizada en aplicaciones industriales por ser insoluble en muchos disolventes y relativamente difícil de aislar debido a sus fuentes naturales en forma pura (Flores, 2004).

En general, los métodos empleados en la actualidad para la obtención de quitina a partir de estos desechos son catalogados como tratamientos drásticos y costosos debido al uso de ácidos y bases fuertes que pueden modificar su estructura, ya sea produciendo una hidrólisis parcial en la molécula o desacetilándola para la consecuente producción de “quitosana”<sup>1</sup> y su uso posterior (Seol y col., 2004). En la Figura 1 se presenta un diagrama de bloques, el cual describe el método más comúnmente empleado en la obtención de quitina.



**Figura 1.** Diagrama de bloques del proceso de obtención de quitina (Adaptado de Gudmund y col., 1989)

La quitina obtenida por el método mostrado en la Figura 1 es un tratamiento drástico, especialmente la extracción con hidróxido a altas temperaturas. Esto

<sup>1</sup> [www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/ipn/artes\\_ciencia\\_cultura/sep-oct98/residuos/sec\\_2.htm](http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/ipn/artes_ciencia_cultura/sep-oct98/residuos/sec_2.htm)

seguramente afecta la estructura de la quitina, debido a que se pueden remover los grupos acetilo. El obtener quitina en disolución facilitará su posterior utilización, pues al ser altamente insoluble en agua y en la mayoría de disolventes orgánicos se ha dificultado su aplicación industrial. También, utilizar como materia prima un desecho de la industria camaronera para la obtención de quitina, ayudará en la reducción de la generación de los residuos sólidos (Flores, 2008).

Dado el contexto anterior, con las esponjas de quitina obtenidas se realizó el montaje de las pruebas mecánicas comparándose las propiedades físicas y mecánicas de las esponjas de quitina con las de poliestireno espumado de uso comercial.

A continuación se plantea la hipótesis y los objetivos específicos de esta investigación.

## **1.2 Hipótesis**

Partiendo de cefalotórax fresco de camarón y empleando tecnologías más limpias, será posible la obtención de esponjas de quitina

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Obtener esponjas de quitina a partir del cefalotórax de camarón y realizar su caracterización mecánica

### ***1.3.2 Objetivos particulares***

- Obtener esponjas de quitina partiendo del cefalotórax de camarón fresco con la finalidad última de utilizarlas como material biodegradable en la elaboración de recipientes para alimentos, empleando para ello tecnologías más limpias que no dañen el ambiente
- Plantear la metodología para la realización de las pruebas mecánicas y así establecer el perfil de tensión de las esponjas de quitina obtenidas
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas de las esponjas de quitina obtenidas con las de un material sintético como el poliestireno espumado, empleado en la elaboración de recipientes desechables para alimentos

## 2. FUNDAMENTOS

Existe un marcado interés en el reaprovechamiento integral de los residuos sólidos derivados de la producción de camarón cultivado en granjas. Esto se debe principalmente a que, por su composición química (quitina, proteína, minerales y pigmentos carotenoides), se considera una materia prima renovable con amplio potencial en la industria de alimentos y farmacéutica (CONAPESCA, 2005).

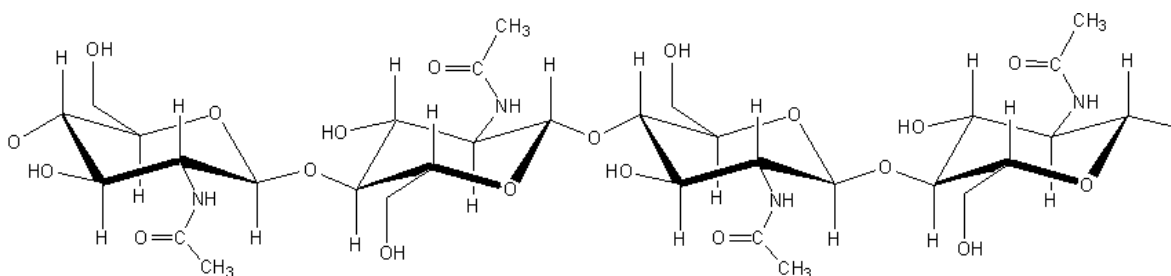
México ocupa el segundo lugar en producción pesquera de camarón en el continente americano y el séptimo lugar a nivel mundial. En México se producen al año 196 mil toneladas de camarón entero. El 66% de éstas (130 mil toneladas) provienen de la acuicultura y el 34%, o sea 66 mil, corresponden a la captura en altamar y bahías. De ellos, México participó con la exportación mundial de 31,000 toneladas de camarón congelado (CONAPESCA, 2009). Por ello, si al valor de captura se le considera que el consumo de su carne es del 50%, la fracción restante, 71,240 toneladas, sería el desperdicio que se deposita en alta mar o, en caso de que sean limpiados en tierra, en tiraderos municipales, convirtiéndose en una fuente de contaminación de alto impacto ambiental (Duarte-de-Holanda y Netto, 2006).

El cefalotórax de camarón está compuesto en promedio de un 44.7% de proteína, 26.3% de cenizas, 20.7% de fibra cruda, 5.2% de grasa y 3.1% de otros carbohidratos. Se destacan tres componentes potencialmente útiles que se pueden reaprovechar: la quitina, los pigmentos carotenoides y las proteínas.

Estos dos últimos están generalmente asociados formando complejos caroteno-proteínicos. Se calcula que el cefalotórax de camarón contiene alrededor de 14 a 27% de quitina, un biopolímero con diversas aplicaciones en las industrias farmacéutica, de alimentos, cosmética y de empaques. Este biopolímero se encuentra en mayor o menor extensión en los exoesqueletos de todos los artrópodos y se encuentra asociado con proteínas de manera covalente, lo cual le da considerable estabilidad a la estructura, confiriéndole dureza, rigidez y resistencia a la hidrólisis. El segundo componente más abundante en el exoesqueleto, lo constituyen las sales minerales que se encuentran asociadas a la quitina y a las proteínas confiriéndole rigidez (Cañipa y col., 1994).

## 2.1 Química de la quitina

La quitina es el segundo polímero natural más abundante en el planeta, por lo que su utilización a gran escala en México es muy prometedora, como lo ha sido en Japón, en donde alrededor de 250 empresas explotan la quitina (Anónimo, 2000). Estructuralmente, es un polímero, constituido esencialmente de azúcares Poli (N-Acetil-D-glucosamina). Sus moléculas son fibrosas, y logran un material de gran resistencia química y mecánica. La quitina tiene una estructura cristalina altamente ordenada. Se han encontrado tres formas polimórficas  $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -quitina, las cuales difieren en el arreglo de las cadenas dentro de las regiones cristalinas. La forma que parece ser la más estable es la  $\alpha$ -quitina. La estructura idealizada de la quitina, poli[ $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-desoxy-D-glucopiranososa] se muestra en la Figura 2 (Roberts, 1992).



**Figura 2.** Estructura de la quitina: Poli (N-acetil-D-glucosamina) (Roberts, 1992)

Debido a su alta insolubilidad (no se disuelve en agua, ni en la mayoría de los disolventes orgánicos), la quitina no ha sido debidamente aprovechada y se ha preferido convertirla en quitosana, su derivado desacetilado, el cual es soluble en medio ácido y, por tanto, de más fácil manipulación. El procedimiento habitual de obtención de quitina y de quitosana es estructuralmente degradable y contaminante, ya que emplea disolventes dañinos al ambiente como el NaOH y el HCl que acortan la masa molecular de la quitina y generan residuos corrosivos. En estudios previos de Flores (2004, 2008) se determinó la manera de extraer quitina del cefalotórax del camarón de forma segura, sin la necesidad de utilizar ácido clorhídrico e hidróxido de sodio (Flores-Ortega y col., 2004).

## **2.2 Los envases como problema ecológico**

Los envases son un invento que ha mejorado la calidad de vida de los seres humanos; sin embargo, lo negativo de ese desarrollo y transformación es el enorme problema ambiental provocado por la acumulación de los materiales de desecho que generan. A pesar de que la mayoría de los productos plásticos y polímeros sintéticos derivados del petróleo garantizan la protección deseada en diversos tipos de aplicaciones en términos de costo, conveniencia, formatos, mercadeo (“marketing”) y protección física, química y óptica, tienen la desventaja de no ser biodegradables, por lo que son responsables en gran medida de los residuos contaminantes que se acumulan en la naturaleza. Además, se sabe que su fabricación requiere de un alto costo energético, energía que se pierde en gran parte porque suelen tirarse tras el primer uso; asimismo, su destrucción es igualmente muy costosa energéticamente hablando y muy contaminante en la mayoría de los casos. La incineración de determinados tipos de plástico es una de las causas de la lluvia ácida que destruye bosques y la salud de los seres humanos. Abandonados a la intemperie, sus cadenas moleculares resisten la ruptura por la acción de agentes naturales, razón por la cual generalmente necesitan un promedio de 150 años para degradarse, lo que está provocando una contaminación ambiental importante en todo el orbe. La fabricación de vidrio también exige un alto consumo de energía y, aunque este material está hecho a partir de materias primas abundantes, tampoco es biodegradable, por lo que tiene un fuerte impacto ambiental. En el caso de los envases metálicos, se sabe que las populares latas de refrescos representan del 6 al 9 por ciento de la basura que se produce en todo el mundo; como es evidente, su recuperación es escasa para posteriores usos y casi no son biodegradables, por lo que la única salida ecológicamente razonable para las latas, es el reciclaje. Así, varios países han tenido que reconocer la necesidad de proponer restricciones ambientales basadas en una verdadera política de control de residuos no degradables mediante el principio de las “tres R”: 1) Reducir la cantidad de residuos de envases contaminantes; 2) Reutilizar el material lo más que sea posible y 3) Reciclarlo para producir nuevos materiales (Demuner y Verdalet, 2004).

### **2.3 Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables**

Con el propósito de atenuar los problemas de la contaminación, se han realizado numerosos estudios para valorar algunos materiales alternativos. En ese sentido, surgió el concepto de plástico biodegradable asociado al uso de materias primas renovables que ofrecen un buen control en el ambiente después de diversos usos. Los biopolímeros, como también se llaman a esas materias primas, son macromoléculas sintetizadas por procesos biológicos o por vía química a partir de monómeros naturales o idénticos a los naturales (Demuner y Verdalet, 2004). La prioridad principal de los empaques es la preservación y protección de todo tipo de productos, siendo los alimentos y las materias primas el campo de mayor prioridad. La protección se hace a través de los empaques, los cuales generalmente se elaboran a partir de polímeros sintéticos. No obstante, el uso indiscriminado de empaques sintéticos ha generado serios problemas ecológicos contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad, lo que ha impulsado a la búsqueda de biopolímeros naturales. El aprovechar los recursos naturales como fuente de conservación y reciclaje se convierte en una excelente opción e innovación en el desarrollo de nuevos productos biodegradables. Su total biodegradación en productos como CO<sub>2</sub>, agua y, posteriormente, en abono orgánico es una gran ventaja frente a los sintéticos (Bastioli, 2001; Petersen y col., 1999).

El reemplazo total de los plásticos sintéticos por materiales biodegradables para la elaboración de empaques, no se ha logrado hasta el presente. No obstante, sí se han sustituido algunos polímeros sintéticos por otros naturales, en aplicaciones específicas. Tales reemplazos han permitido el desarrollo de productos con características específicas relacionadas con las propiedades de barrera, mecánicas y térmicas en determinados empaques como son las películas plásticas, los protectores, las espumas, los platos, las tazas, las cucharas, las bolsas, etc. (Avérous y Boquillon, 2004; Wang y col., 2003).

Los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina/quitosana), origen agrícola (lípidos y

grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA) (Tharanathan, 2003).

## **2.4 Bioenvase**

### **2.4.1 Definición**

El bioenvase ha sido definido como aquel que ha sido elaborado con materiales basados en fuentes biológicas y estos materiales a su vez son derivados de fuentes que son renovables anualmente, de tal forma que se excluyen los materiales basados en la celulosa proveniente de los árboles; ya que estos tienen un tiempo de renovación de 25 a 65 años dependiendo de la especie y del ambiente donde se cultive (Robertson, 2006).

### **2.4.2 Integración del bioenvase en la vida actual**

Debido a que en el mercado europeo actualmente conviven envases tradicionales con los novedosos envases elaborados de biopolímeros se ha tenido que desarrollar un logotipo que conviva con el ya existente triángulo de flechas que ayuda a identificar a las empresas recicladoras del plástico con el que se elaboran los envases tradicionales (Fedorak, 2005). Dicho logotipo no indica el material con el que se elabora el envase sino que hace referencia a la habilidad de formar “compostas”, como el proceso en el que participa el envase al momento de ser desechado (Figura 3).



**Figura 3.** Logotipo de compostabilidad (Fedorak, 2005)

Plásticos y polímeros biodegradables se complementan unos a otros; pero hay que reconocer que los polímeros biodegradables perjudican a los plásticos en el momento del reciclado, contaminando el producto final; razón por la que no



pueden ser mezclados y se tiene que indicar si un envase está elaborado con biopolímeros. El desecho de los polímeros biodegradables es más apropiado gracias a la “compostabilidad” de los mismos; pero este sistema necesita de una infraestructura, además de un sistema eficiente de recolección y de formación de “composta”. Alemania ha invertido en la infraestructura para realizar el proceso de “composta” y un 60% de los hogares en el país cuentan con un bote de basura orgánica que es recolectada especialmente para ser sometida a dicho proceso. Han demostrado en estudios piloto en comunidades específicas de Alemania que es posible conectar el envase biodegradable con la “composta” (Fedorak, 2005).

## **2.5 Bioesponjas**

Son materiales porosos biodegradables que presentan una gran demanda en varias aplicaciones como sistemas de liberación controlada de drogas, soporte para inmovilización de enzimas, separación de moléculas y absorción de metales de transición. Estos materiales, también, han sido utilizados ampliamente en ingeniería de tejidos biológicos para la reparación y obtención de tejidos (Chow y Khor, 2000).

La quitina tiene el potencial para formar una esponja estable altamente insoluble en agua y biodegradable cuando se encuentra en condiciones apropiadas, como en un sitio de disposición controlada de basura (Flores, 2004).

### ***2.5.1 Posibles usos de la esponja de quitina***

Los materiales porosos biodegradables son utilizados ampliamente para la reparación y fabricación de tejidos biológicos. El material de soporte debe ser suficientemente poroso y poseer una adecuada estabilidad mecánica. También debe ser biocompatible y biodegradable o bio-absorbible. Sirven como soportes temporales para las células transplantadas antes de ser sustituido por la matriz extracelular. El desarrollo de un buen polímero biodegradable que actúe como soporte temporal es un factor importante que puede determinar el éxito de una terapia de trasplante celular.

Se ha investigado el uso de la quitosana en el trasplante de osteoblastos para la regeneración ósea (Seol y col., 2004). Sin embargo, el uso de quitosana como soporte poroso presenta complicaciones. La alta densidad de grupo amino le confiere características hemostáticas<sup>2</sup> que generan problemas de coagulación sanguínea. La quitosana no puede ser aplicada en ingeniería de tejidos biológicos donde el contacto con la sangre es esencial. La quitina, en cambio, no presenta este inconveniente pues la presencia de grupos amida reducen el carácter policatiónico y disminuyen la propiedad hemostática (Chow y Khor, 2000; Khor, 2002).

Las matrices porosas de quitina no son citotóxicas y tienen potencial para servir de soporte para el crecimiento y proliferación celular *in vitro*. Para emplear a la quitina como material biomédico es necesario un alto grado de pureza (Khor, 2002), por eso, en esta investigación, se orientó el uso de esponja de quitina como posible sustituto del material con que se elaboran los artículos de plástico desechable para comida, pues no se requiere quitina de elevada pureza.

La ciencia y la tecnología en el último siglo han logrado progresos asombrosos y han hecho la vida cotidiana más comfortable. Se han desarrollado una variedad de polímeros sintéticos y han sido utilizados como fibra sintética, plástico y caucho sintético en lugar de los tradicionales como fibra natural, maderas y caucho o hule natural. Los polímeros sintéticos son utilizados en muchos campos incluyendo transportación, construcción, empaquetado, equipos eléctricos, aplicaciones médicas, etc. Actualmente, aproximadamente 150 millones de toneladas de plástico son producidas anualmente en todo el mundo y la producción y consumo continúa en aumento. La mayoría de esos plásticos se originan del petróleo y del incremento en su producción se deriva el aumento en el consumo del petróleo. Más importante y peligrosa resulta ser la alta durabilidad de los materiales poliméricos sintéticos, que causa una contaminación ambiental seria por los desechos que se generan y que difícilmente se degradan (Okada, 2002).

---

<sup>2</sup> La hemostasia es la detención de una hemorragia por medios físicos o químicos (Flores, 2008)

Una de las estrategias para resolver los problemas de las fuentes fósiles y el ambiente global, es a través del reciclaje de desechos de materiales poliméricos. Pero no es suficiente pues no siempre es posible recuperar todos los plásticos utilizados. Además, el proceso de reciclaje consume una considerable cantidad de energía térmica y no se pueden reciclar por siempre, esto es, los plásticos reciclados eventualmente son incinerados o enterrados en los sitios de disposición controlada. En tales casos es indispensable el uso de polímeros biodegradables que sean reciclados por microorganismos sin consumo de energía térmica y el empleo de materias primas de fuentes renovables (Okada, 2002).

Los polímeros biodegradables son los polímeros que pueden ser degradados y catabolizados a dióxido de carbono y agua por microorganismos (bacterias, hongos, etc.) en un ambiente natural<sup>3</sup>. Cuando se degradan no deben generar ninguna sustancia que sea peligrosa al ambiente natural. Los polímeros biodegradables se clasifican en tres grandes categorías: (1) poliésteres producidos por microorganismos, (2) polisacáridos naturales (como la quitina) y otros biopolímeros y (3) polímeros sintéticos, particularmente poliésteres alifáticos. Se han diseñado y sintetizado muchos polímeros biodegradables potenciales pero aún no se ha logrado el polímero biodegradable ideal: que presente un alto rendimiento mientras es utilizado y que se biodegrade fácilmente cuando termina su vida útil (Okada, 2002).

Los envases desechables (de un solo uso) para alimentos elaborados de espuma de poliestireno (PS) en forma de platos, bandejas, y vasos tienen una vida útil muy corta y cuando se eliminan sin reciclar son un problema en los vertederos donde ocupan espacio y permanecen sin degradarse<sup>4</sup>. Es importante desarrollar un

---

<sup>3</sup> Hay que considerar reacciones abióticas (fotodegradación, oxidación, e hidrólisis) que pueden también alterar al polímero antes, durante o en lugar de la biodegradación (Amass y col., 1998)

<sup>4</sup> El 25% aprox. del PS producido anualmente se utiliza para el empaquetamiento de comida y constituye el 1% del volumen de los residuos sólidos urbanos. Los críticos señalan que gran parte del empaquetamiento para comida no es necesario e inclusive se ha sugerido la eliminación de los productos de espuma de PS. Las tres estrategias posibles para el manejo de desechos de plástico son: La incineración, el reciclaje y los rellenos sanitarios. Los diferentes tipos de envase o contenedores de servicio de comidas de PS pueden recuperarse separadamente o juntos. Un proceso típico incluye selección semiautomática, granulación, lavado, secado y *peletización*. La tabla maciza de espuma se procesa de forma distinta; se rompe la espuma sin calor, para formar una mezcla, después se riega con agua y se corta en *pellets*. EL PS reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma aislante para cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida,

material en forma de esponja estable altamente insoluble en agua y biodegradable (Flores, 2004), apropiada para este tipo de envases desechables de comida rápida. Las características que deben cumplir los plásticos fotodegradables y biodegradables para la industria del embalaje son: 1) Materiales no-tóxicos con productos de degradación no-tóxicos que no deben afectar el agua de drenaje de los sitios de relleno sanitario conocida como lixiviados, 2) Polímeros con apropiadas propiedades mecánicas para usos específicos, 3) Viabilidad económica, 4) Control de la degradación de los plásticos por modificación del polímero y 5) Procesabilidad (Amass y col., 1998).

## **2.6 Pruebas mecánicas**

Las propiedades mecánicas de un sólido son uno de los aspectos más relevantes cuando se trata de utilizar éste en aplicaciones prácticas. El método más común para evaluar las propiedades mecánicas de un material es controlar lo que el material se deforma bajo la acción de una carga determinada. Además, las pruebas mecánicas son una herramienta de gran importancia para cualquier aplicación en el sector industrial, debido a que permiten caracterizar alguna pieza, producto o materia prima desde un punto de vista físico y conocer las características de materiales tales como: aceros, aleaciones, aluminio, cobre, bronce, biomateriales, etc., los cuales poseen múltiples aplicaciones en los diferentes sectores de la industria. En el laboratorio de pruebas mecánicas se realizan pruebas con referencia a normas nacionales e internacionales, como son las de la American Society for Testing and Materials (ASTM), según las necesidades específicas<sup>5</sup>.

### **2.6.1 Ensayo de tensión y diagrama de tensión-deformación**

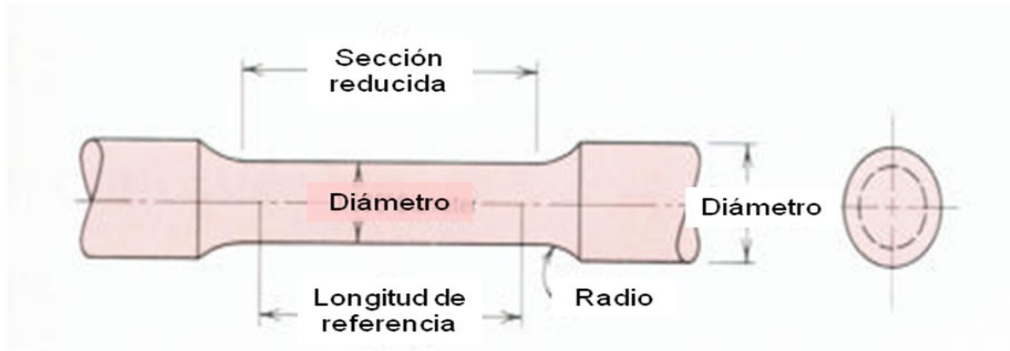
En este ensayo la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente una tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Las muestras normalmente tienen sección

---

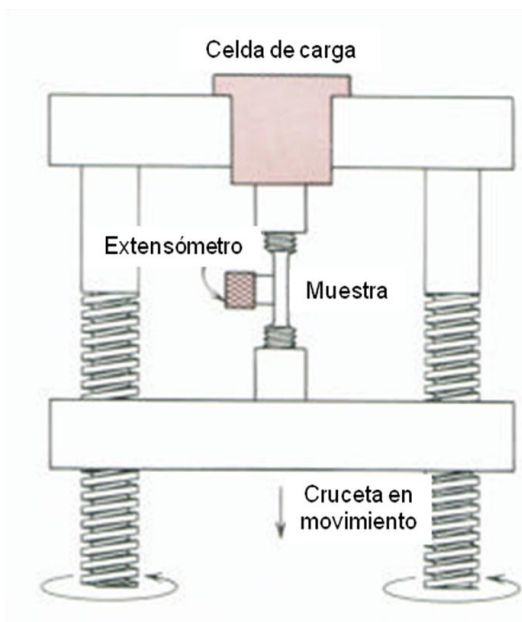
recipientes de basura, aislamiento, juguetes y productos de moldeo por inyección (Tchobanoglous y col., 1994)

<sup>5</sup> [http://www.upaep.mx/cesat/metal\\_mecanica.html](http://www.upaep.mx/cesat/metal_mecanica.html)

transversal circular, aunque también se usan especímenes rectangulares (Figura 4). Durante la tensión, la deformación se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. La muestra se sostiene por sus extremos en la máquina por medio de soportes o mordazas que a su vez someten la muestra a tensión a una velocidad constante. La máquina al mismo tiempo mide la carga aplicada instantáneamente y la elongación resultante (usando un extensómetro). Un ensayo de tensión normalmente dura pocos minutos y es un ensayo destructivo, ya que la muestra es deformada permanentemente y usualmente fracturada (Figura 5) (Askeland, 2006; Parker, 2002).



**Figura 4.** Muestra típica de sección circular para el ensayo de tensión-deformación (Askeland, 2006; Parker, 2002)

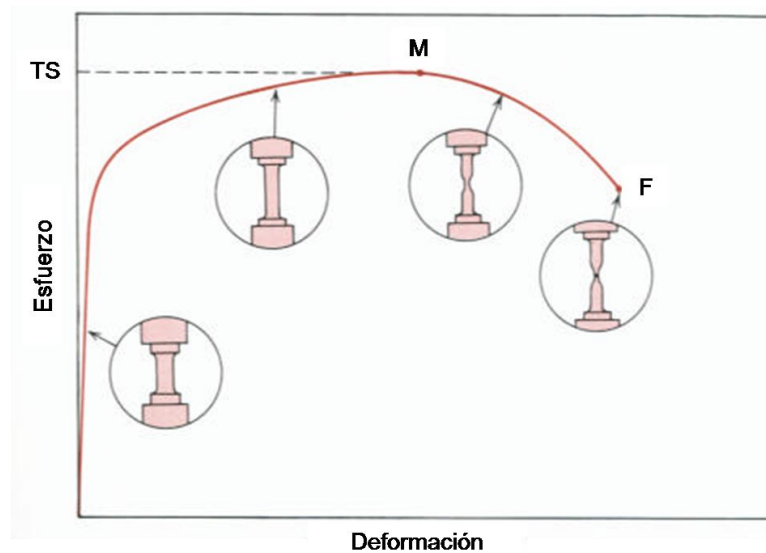


**Figura 5.** Ensayo tensión-deformación (Askeland, 2006; Parker, 2002)

Sobre un papel de registro, se consignan los datos de la fuerza (carga) aplicada a la muestra que está siendo ensayada, así como la deformación que se puede obtener a partir de la señal de un extensómetro. Los datos de la fuerza pueden convertirse en datos de tensión y así construir una gráfica de tensión-deformación, como la que se observa en la Figura 6.

Las propiedades mecánicas que son de importancia en ingeniería y que pueden deducirse del ensayo de tensión-deformación son las siguientes:

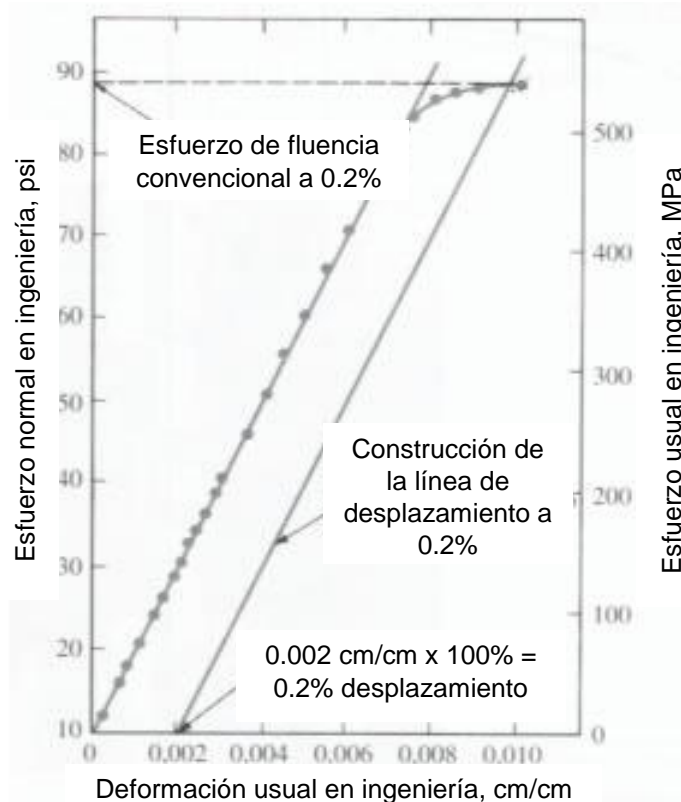
- Límite elástico al 0.2%
- Módulo de elasticidad
- Energía de tensión de ruptura y resistencia máxima a la tensión
- Porcentaje de elongación en el punto de ruptura



**Figura 6.** Gráfica típica tensión vs deformación (Askeland, 2006; Parker, 2002)

### **2.6.2 Límite elástico**

Es la tensión a la cual un material muestra deformación plástica significativa. Debido a que no hay un punto definido en la curva de tensión-deformación donde acabe la deformación elástica y se presente la deformación plástica se elige el límite elástico cuando tiene lugar un 0.2% de deformación plástica, como se indica en la Figura 7.



**Figura 7.** Obtención del límite elástico cuando se genera una deformación del 0.2% (Askeland, 2006; Parker, 2002)

El límite elástico al 0.2% también se denomina esfuerzo de fluencia convencional al 0.2%. De acuerdo con la curva esfuerzo-deformación se determina de la siguiente manera: Inicialmente se traza una línea recta que tiene su origen en cero en el eje horizontal que corresponde a la deformación. Se traza una segunda recta con la misma pendiente (paralela a la parte elástica (lineal) de la gráfica tensión-deformación) y se desplaza en el eje horizontal hasta el 0.2% de deformación (0.002 cm/cm). En el punto donde la segunda recta intercepta con la parte superior de la curva tensión-deformación, se dibuja una línea horizontal hasta el eje de tensión. El límite elástico convencional a un 0.2% es la tensión a la que la línea horizontal se intercepta con el eje de tensión. A partir de este punto las deformaciones aumentan en una proporción mayor que el aumento de las cargas

aplicadas. Debe aclararse que el 0.2% se elige arbitrariamente y podría haberse elegido otra cantidad pequeña de deformación permanente (Askeland, 2006).

### 2.6.3 Módulo de elasticidad o Módulo de Young

El módulo de elasticidad o módulo de Young de un material es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria. Se representa por la letra  $E$  (Figura 8) y es una indicación de la *rigidez* de un material (Askeland, 2006; Parker, 2002).

$$E = \text{esfuerzo unitario} / \text{deformación unitaria} = f / s = (P/A) / (e/l) = Pl / Ae \quad (1)$$

donde:

$E$  = módulo de elasticidad en  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$

$P$  = fuerza aplicada en  $\text{kg}_f$

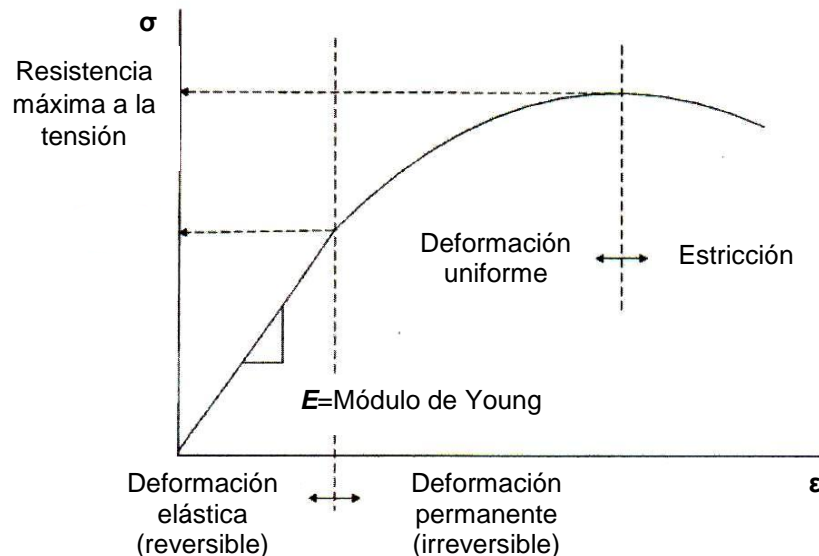
$f$  = esfuerzo en el material en  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$

$A$  = área de la sección transversal del miembro en  $\text{cm}^2$

$l$  = longitud de la probeta en  $\text{cm}$

$e$  = deformación total en  $\text{cm}$

$s$  = deformación unitaria en  $\text{cm}/\text{cm}$



**Figura 8.** Módulo de elasticidad o módulo de Young en la curva tensión-deformación (Askeland, 2006)



El módulo de Young tiene relación con la fuerza de enlace entre los átomos en un material. Los materiales con un módulo elástico alto son relativamente rígidos y no se deforman fácilmente.

#### **2.6.4 Energía de tensión de ruptura y resistencia máxima a la tensión**

La energía de tensión de ruptura es la energía total absorbida por unidad de volumen de la muestra hasta el punto de rotura. En algunos textos esta propiedad se ha denominado *tenacidad* (ASTM, 2002).

La resistencia máxima a la tensión hace referencia a la tensión máxima alcanzada en la curva de tensión-deformación. Si la muestra desarrolla un decrecimiento localizado en su sección (un estrangulamiento de su sección antes de la rotura), la tensión decrecerá al aumentar la deformación hasta que ocurra la fractura, puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra. Mientras más dúctil sea el material, mayor será el decrecimiento en la tensión en la curva tensión-deformación después de la tensión máxima. La resistencia máxima a la tensión de un material se determina dibujando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva tensión-deformación hasta el eje de las tensiones (punto TS en la Figura 6). La tensión a la que la línea intercepta al eje de tensión se denomina *resistencia máxima a la tensión* (Askeland, 2006; Parker, 2002).

#### **2.6.5 Porcentaje de elongación en el punto de ruptura**

La elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material. La ductilidad de los materiales comúnmente se expresa como porcentaje de la elongación, comenzando con una longitud de calibración usualmente de 2 pulg (5.1 cm). En general, a mayor ductilidad, mayor será el porcentaje de elongación. El porcentaje de elongación de una muestra después de la fractura puede medirse juntando la muestra fracturada y midiendo la longitud final con un calibrador. El porcentaje de elongación puede calcularse mediante la ecuación 2:

$$\% \text{ elongación} = ((L - L_0) / L_0) * 100\% \quad (2)$$

donde:

$L = \text{Longitud final}$

$L_0 = \text{Longitud inicial}$

Este valor es importante en ingeniería no sólo porque es una medida de la ductilidad del material, sino también porque da una idea acerca de la calidad del mismo. En caso de que haya porosidad o inclusiones en el material o si ha ocurrido algún daño por un sobrecalentamiento del mismo, el porcentaje de elongación de la muestra puede decrecer por debajo de lo normal (Askeland, 2006; Parker, 2002).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Extracción de quitina**

El cefalotórax de camarón (CC), es una matriz formada de proteína químicamente combinada con quitina y mezclada con carbonato de calcio, la cual, fue la materia prima para la obtención de quitina. Siguiendo los preceptos de la *Química verde*<sup>6</sup>, la quitina se extrajo del CC de manera menos contaminante que si se hubiera utilizado el método tradicional, al evitar el uso de sustancias corrosivas que además son agresivas para la molécula. Primeramente, la mayor parte de proteínas del CC fue separada con agua en sustitución de la solución básica y, en lugar de emplear una solución ácida para disolver los carbonatos, fue disuelta en un disolvente a base de cloruro de calcio para su extracción. Una ventaja adicional del método utilizado en esta investigación, el cual fue desarrollado y descrito con mayor detalle por Flores (2004), fue la obtención de la quitina en disolución, lo cual facilitó su posterior utilización. Los disolventes empleados fueron recuperados para su reutilización subsecuente.

#### **3.2 Materia prima utilizada**

El cefalotórax de camarón fresco se obtuvo en la Central de pescados y mariscos La Nueva Viga, en México, D. F.<sup>7</sup> Las cabezas de camarón fueron proporcionadas gratuitamente por los comerciantes pues ellos acostumbran arrojarlas a la basura. Del CC fresco se separaron los exoesqueletos, los cuales se colocaron en una tina de plástico, se limpiaron de objetos extraños y se lavaron bajo un chorro de agua de la llave hasta que ésta se observara limpia para dejarlos escurrir durante 20 minutos. El cefalotórax de camarón debe utilizarse preferentemente fresco y mantenerse en refrigeración (4°C) para evitar la descomposición por las proteínas presentes. Se evaluó su contenido de humedad inicial (AOAC, 1980).

---

<sup>6</sup> La Química verde es la utilización de una serie de principios que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicación de productos químicos (Anastas y Warner, 1998)

<sup>7</sup> La producción nacional de camarón entero es de 196 mil toneladas (CONAPESCA, 2009)

### **3.3 Obtención de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizado (EPD)**

La mayor cantidad de proteínas, grasas y pigmentos y parte de los minerales se eliminan cuando se licua el CC<sup>8</sup> con agua (Singer y Wooten, 2003) y se obtiene el cefalotórax parcialmente desproteinizado (CPD).

En una licuadora doméstica, marca Osterizer modelo 10-C de una velocidad, se adicionan los exoesqueletos limpios y el agua en una relación 1:2 en masa (una parte de exoesqueletos y dos partes de agua) para, posteriormente, licuarse dos veces durante treinta segundos. La pasta obtenida se filtra con un tamiz de tamaño de malla de 1mm de abertura para separar la parte líquida.<sup>9</sup> Los sólidos retenidos en el tamiz son secados en una estufa eléctrica marca Felisa modelo FE-293 a 60°C durante 18 horas.<sup>10</sup> La harina de EPD obtenida, es tamizada con la finalidad de obtener un tamaño de partícula de  $149\mu\text{m} < P < 2\text{mm}$  y conservada en refrigeración dentro de un envase hermético.

### **3.4 Preparación del disolvente y disolución de quitina**

#### **3.4.1 Preparación del disolvente MAC**

El disolvente MAC (mezcla de **M**etanol-**A**gua-**C**loruro de **C**alcio 1:4:1) se preparó en un matraz bola de 250 mL donde se pesaron 277.45 g de cloruro de calcio anhidro,<sup>11</sup> 180 mL de agua destilada y 98.88 mL de metanol, dando una reacción exotérmica. Esta mezcla fue sometida a reflujo, con calor moderado hasta la disolución completa del cloruro, por último se enfrió y se guardó en un recipiente hermético. El MAC se utilizó para disolver la quitina presente en la harina de exoesqueleto parcialmente desproteinizado (EPD).

---

<sup>8</sup> El cefalotórax de camarón está constituido principalmente de proteínas, carbonato de calcio y quitina y, en menor cantidad, grasa y pigmentos

<sup>9</sup> La solución que pasa por el tamiz es una fuente rica en pigmentos y proteínas que se puede aprovechar en otros usos (Peniston y Johnson, 1980; Shahidi y Synowiecki, 1991)

<sup>10</sup> Se seca a baja temperatura para evitar la degradación de la molécula de quitina por el calor. También se prescinde de la molienda en seco del CPD para evitar el calor generado por la fricción durante el proceso

<sup>11</sup> A menos que se indique lo contrario, el cloruro de calcio es grado comercial utilizado como agente deshumidificador (*Cero humedad*, Industrias Ralc, México) recristalizado en agua destilada y secado a 160°C durante cinco horas

### 3.4.2 Disolución de quitina

La quitina presente en los exoesqueletos fue disuelta en una mezcla de **Metanol**, **Agua** y cloruro de **Calcio (MAC-1:4:1)**, lo cual permitió su extracción (Barrera-Rodríguez y col., 2007; Flores, 2004). La mezcla de harina de EPD con MAC fue colocada en frascos de 100 mL, con tapa hermética, se homogeneizó y se dejó en reposo a 25°C en una incubadora Felisa modelo FE-142 durante 48 horas con el objetivo de que se formara el complejo soluble quitina-calcio. Luego del periodo de extracción, se obtuvo en el frasco una mezcla de disolvente, proteínas, quitina disuelta y harina de EPD que no se disolvió. (Flores, 2008). Transcurrido este tiempo, el sobrenadante (QUIMAC o quitina en solución) se filtró al vacío en equipo Millipore utilizando una membrana polimérica formada de fibras distribuidas al azar y con un tamaño de poro irregular para separar los residuos sólidos de EPD. Durante la filtración la solución de quitina fue agregada por etapas para evitar que los poros de la membrana se saturaran debido a la viscosidad de la solución y así favorecer la extracción de QUIMAC. Las soluciones QUIMAC se pesaron y fueron empleadas para la obtención de las esponjas de quitina. Con el objetivo de contar con una repetibilidad de los resultados y obtener un promedio, se ensayaron 4 cantidades diferentes de harina de EPD (ver Tabla 1) y se realizaron 10 determinaciones para cada ensayo, empleando la relación en masa de harina de EPD/MAC de 1:10.

**Tabla 1.** Ensayos realizados para obtener quitina en solución utilizando la relación 1:10 en masa de EPD/MAC

No. de Ensayo	Masa de harina de EPD (g)	Masa MAC (g)
1	2	20
2	6	60
3	12	120
4	18	180

Al final de la etapa de filtración se realizó la cuantificación por gravimetría de la quitina que se pierde durante este proceso y que se recupera mediante un lavado

del equipo con agua destilada en forma de precipitado. El precipitado se filtra por succión con una membrana *Millipore* de 0.45  $\mu\text{M}$  y se lava con agua destilada para posteriormente secarse a (60°C/2h) y finalmente la película obtenida es pesada.

### **3.5 Formación de esponjas de quitina (SPQ) por el método de formación de espuma y precipitación**

La solución QUIMAC obtenida en 3.4.2 se agita manualmente durante tres minutos, con una varilla de vidrio, hasta que se produce espuma.<sup>12</sup> La espuma QUIMAC es colocada en moldes rectangulares de 22 cm de largo x 15 cm de ancho y puesta en una cámara de humidificación<sup>13</sup> con una humedad relativa mayor al 90% para que el cloruro de calcio, que es higroscópico absorba agua del ambiente y la quitina precipite en forma de esponja. Transcurridas 48 horas, se extrae todo el disolvente que se separa<sup>14</sup>, dejando en el molde a la esponja de quitina (SPQ), la cual se lava con agua destilada para eliminar el residuo de disolvente para, posteriormente proceder al secado a temperatura ambiente. Finalmente, las esponjas de quitina fueron pesadas y medidas.

### **3.6 Caracterización mecánica de la esponja de quitina**

Las propiedades de tensión, que se determinaron por el método de ensayo descrito en 2.6, fueron de gran valor para la identificación y caracterización de los materiales (esponja de quitina y poliestireno espumado). De esta manera fue posible determinar su comportamiento bajo cargas de estiramiento axial.

#### **3.6.1 Dimensiones**

Se elaboraron las probetas con las esponjas de quitina (SPQ) obtenidas y el poliestireno espumado (PS), para realizar las pruebas mecánicas. Se midieron las dimensiones de las probetas (ancho y espesor), utilizando un Vernier.

---

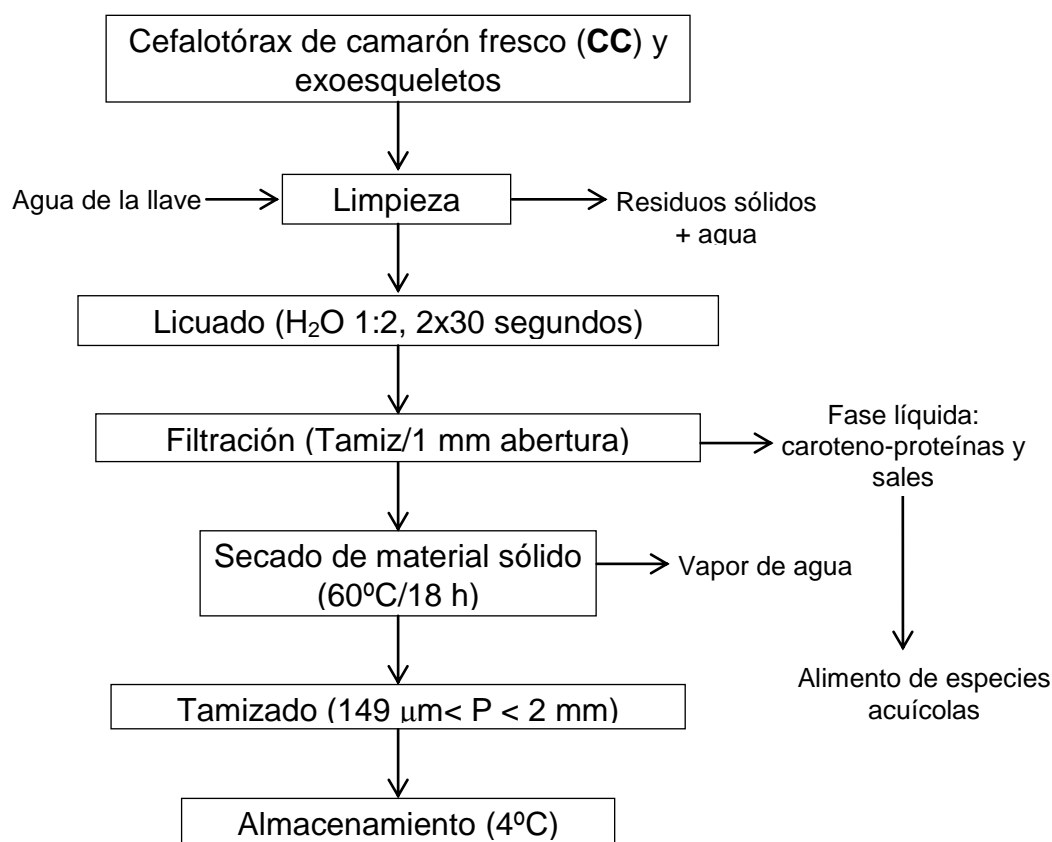
<sup>12</sup> La formación de espuma se vio favorecida por la presencia de proteínas, presentes en la solución, que también fueron extraídas del CPD por el MAC (Flores, 2008)

<sup>13</sup> La cámara de humidificación fue un desecador de vidrio cubierto el fondo con agua destilada acoplado un termómetro en la tapa y mantenido a temperatura ambiente

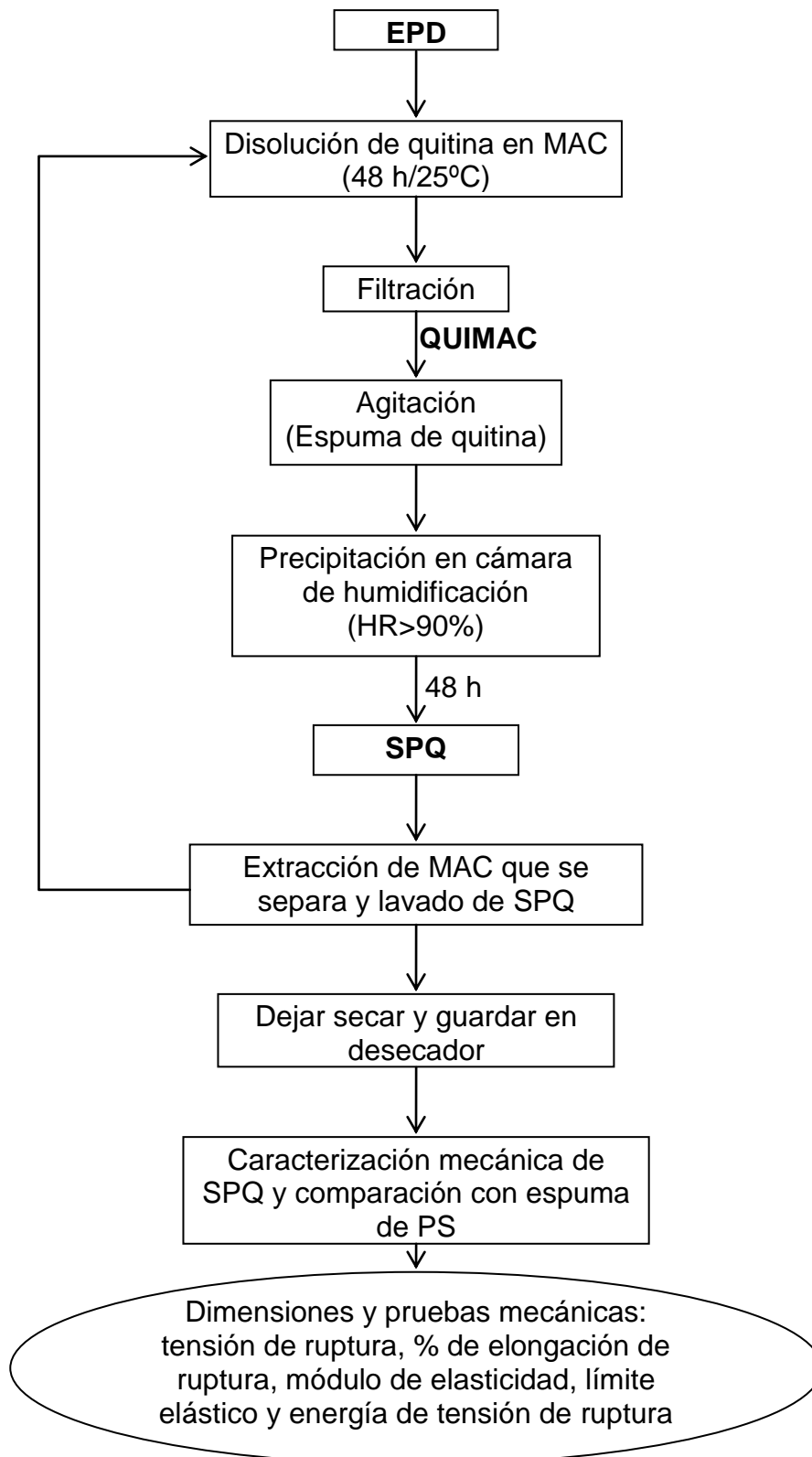
<sup>14</sup> Es disolvente en exceso que no reaccionó y se guardó para recuperar el cloruro de calcio que se reutilizó en la formulación de nuevo MAC

### 3.6.2 Pruebas mecánicas

Se estudiaron las propiedades mecánicas de la esponja de quitina determinándose los siguientes parámetros: tensión de ruptura, porcentaje de elongación de ruptura, módulo de elasticidad, límite elástico y energía de tensión de ruptura. Las propiedades mecánicas fueron comparadas con las de poliestireno espumado (PS) con el que se elaboran charolas desechables para alimentos. Se utilizó un equipo Instron 5500R modelo 1125, una velocidad de 10mm/min y a una distancia inicial de 25mm. La humedad fue del 50% y la temperatura fue de 23°C. En las Figuras 9 y 10 se presentan el diagrama de bloques del proceso de obtención de harina de exoesqueleto de camarón parcialmente desproteínizado (EPD) así como la obtención de esponjas de quitina (SPQ), respectivamente.



**Figura 9.** Diagrama de bloques para la obtención de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado (EPD) a partir de cefalotórax de camarón fresco (CC)



**Figura 10.** Diagrama de bloques para la obtención de esponja de quitina a partir de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizado (EPD)



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Obtención de harina de exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizado (EPD)

Como se menciona en el apartado 1.1, aproximadamente el 30% de la producción total de camarón que se convierte en desperdicio puede aprovecharse para la extracción de quitina entre otros usos. A nivel de laboratorio se utilizaron en total 2 kg de exoesqueletos frescos para la obtención de harina de EPD como se describe en el apartado 3.3.

**Tabla 2.** Porcentaje de recuperación de harina de EPD a partir de exoesqueletos de camarón frescos

Exoesqueletos frescos	Harina de EPD	% de recuperación*	Humedad eliminada en el secado
0.52 kg b.h.	0.18 kg b.h.	*35%	0.34 kg
1.42 kg b.h.	0.52 kg b.h.	*37%	0.90 kg

\*Porcentaje calculado a partir de exoesqueletos frescos

Como se observa en la Tabla 2, el primer ensayo se realizó con 0.52 kg de exoesqueletos frescos obteniéndose 0.18kg de harina de EPD lo cual corresponde a un 35% de recuperación. Para el siguiente ensayo, donde se utilizaron 1.42 kg de exoesqueletos frescos la recuperación fue del 37% calculado a partir de exoesqueletos de camarón frescos. Es decir, que hasta el 37% del total que es considerado como desperdicio, aún puede ser recuperado y aprovechado para la extracción de quitina y la elaboración de esponjas.

### 4.2 Características del exoesqueleto y cefalotórax de camarón empleado para la extracción de quitina

Los desechos de exoesqueleto de camarón fresco se trataron como se indica en el apartado 3.2 y 3.3. De acuerdo con lo reportado por Flores (2008), el cefalotórax

de camarón fresco entero contiene aproximadamente el 79.3% de humedad, estando la quitina presente prácticamente en un 4% (Cárdenas y col., 2004; Singer y Wooten, 2003), siendo el mayor componente de él, las proteínas, con un 9%. Con el licuado y posterior secado se consiguen eliminar principalmente las proteínas solubles y la humedad. El cefalotórax de camarón parcialmente desproteínizado, CPD, presenta un mayor contenido de quitina, del 18% en el CC entero hasta un 28%, mientras que las proteínas disminuyeron de un 38 a un 20%. Las proteínas solubles y las asociadas débilmente son eliminadas, permaneciendo las que se encuentran fuertemente enlazadas, mediante enlaces covalentes, con la quitina. También las grasas son eliminadas casi completamente con el licuado (Flores, 2008). Adicionalmente, con el proceso de licuado puede ocurrir una pérdida de quitina de hasta un 40% debido a que, para recuperarla de la solución de proteínas, se utilizó un tamiz de 1 mm de apertura de malla (ver 3.3) y toda partícula de quitina con un diámetro menor no puede ser retenida. Singer y Wooten (2003) con un procedimiento de licuado similar, aumentaron la concentración de quitina de un 17 a un 60%, debido a que en la etapa de filtración utilizaron una malla de 30 $\mu$ m, con lo que se pudo retener una mayor cantidad de quitina de tamaño de partícula pequeño. Aquí permanece una área de oportunidad para investigaciones futuras.

### **4.3 Disolución de quitina**

La disolución de quitina se produce cuando el calcio del disolvente MAC rompe los puentes de hidrógeno de la quitina (estos le confieren alta insolubilidad) y forma un complejo soluble. El calcio completa así su envoltura de solvatación iónica que se encontraba incompleta por ser el disolvente MAC una solución saturada (Flores, 2008).

La extracción de quitina se realizó con disolvente MAC-141, a 25°C, debido a que utiliza una menor cantidad de metanol con respecto a otros disolventes ensayados previamente por Flores (2004, 2008), la producción de SPQ es adecuada y la extracción se efectúa a temperatura ambiente. Para ver el efecto que tiene la cantidad de harina de EPD sobre la obtención de quitina en solución (QUIMAC) se

realizaron 4 ensayos con cantidades diferentes de esta harina (ver Tabla 1). En la Tabla 3 y en el Gráfico 1 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 3.** Obtención de quitina en solución (QUIMAC) utilizando diferentes cantidades de harina de exoesqueleto parcialmente desproteínizado (EPD)

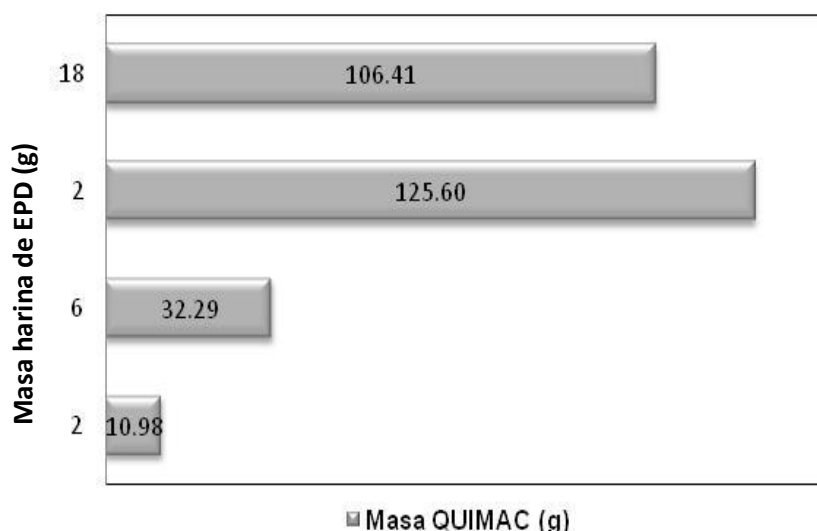
Ensayo	Masa harina de EPD (g)	Masa QUIMAC (g)	Masa quitina precipitada (g)
1	2	10.98 $\sigma \pm 0.05$	0.01 $\sigma \pm 0.003$
2	6	32.29 $\sigma \pm 3.51$	0.02 $\sigma \pm 0.005$
3	12	125.60 $\sigma \pm 7.33$	0.05 $\sigma \pm 0.005$
4	18	106.41 $\sigma \pm 11.47$	1.03 $\sigma \pm 0.004$

\*Los valores reportados son el promedio de 10 determinaciones por ensayo

Debido a la alta viscosidad de las soluciones QUIMAC, la filtración en el equipo Millipore fue poco eficiente y no se consiguió extraer toda la quitina disuelta. Es por esto último que en la Tabla 3 se muestra la masa de quitina precipitada, la cual hace referencia a la quitina que se pierde durante la filtración y que es recuperada mediante un lavado del equipo con agua destilada. Con esta determinación se comprueba que no toda la quitina extraída es recuperada en forma de esponja. Estas operaciones de separación son un área de oportunidad para investigaciones futuras.

En el Gráfico 1 se aprecia que la cantidad de quitina disuelta (QUIMAC) varía de acuerdo con la cantidad de harina de EPD utilizada. La cantidad de quitina en solución que es recuperada utilizando una concentración de 2 g de EPD fue cerca de 11 g y aumentó hasta 3 veces utilizando 6 g de EPD obteniéndose 32 g de QUIMAC. De la misma manera, en el ensayo realizado con 12 g de EPD, el aumento en la masa de QUIMAC recuperada fue hasta 4 veces mayor con respecto a lo que se obtenía utilizando 6 g de EPD. Si bien se esperaba obtener un aumento en la cantidad de QUIMAC extraída con 18 g de EPD, esto no ocurrió, debido a que aumentaba la viscosidad de la solución lo cual complicaba la filtración y, por lo tanto, no se extraía por completo. Esto, además, se vio reflejado

en la cantidad de quitina precipitada obtenida, que fue de 1 g, mayor que en los 3 casos anteriores.



**Gráfico 1.** Efecto de la cantidad de harina de exoesqueleto parcialmente desproteinizado (EPD) sobre la obtención de quitina en solución (QUIMAC)

#### 4.4 Obtención de esponjas de quitina (SPQ)

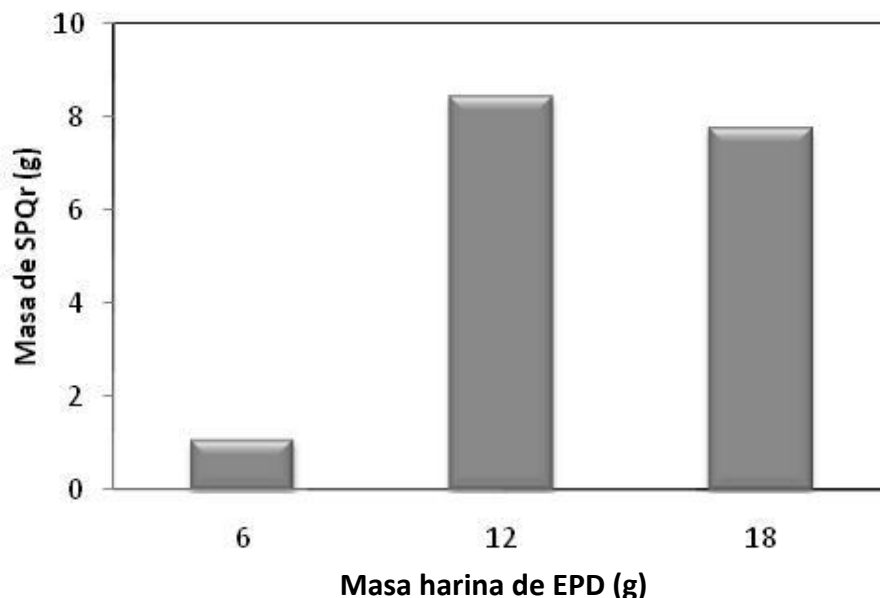
Se analizó el efecto que tiene la cantidad de harina de EPD empleada para la extracción de quitina, sobre el tamaño de las esponjas de quitina recuperadas (SPQr). Los resultados de estos ensayos se muestran en el Gráfico 2 y en la Tabla 4. Las esponjas de quitina obtenidas presentaron una superficie plana, sin poros y con buena flexibilidad.

**Tabla 4.** Masa de esponja de quitina recuperada (SPQr) con diferentes concentraciones de harina de exoesqueleto parcialmente desproteinizado (EPD)

Masa harina de EPD (g)	Masa de SPQr (g)*	Área de SPQr (cm <sup>2</sup> )
6	1.10 $\sigma \pm 0.51$	8.25
12	8.46 $\sigma \pm 0.97$	57.00
18	7.78 $\sigma \pm 0.01$	50.40

\* Los valores reportados son el promedio de 10 determinaciones por ensayo

Los polímeros, sean naturales o sintéticos, requieren de agentes plastificantes para conferirles textura, dureza y, en general, propiedades deseables, por lo que será necesario en un estudio posterior, evaluar diferentes agentes plastificantes para obtener esponjas con características de rigidez similares al poliestireno empleado para las bandejas de productos alimenticios (Barrera-Rodríguez y col., 2007).



**Gráfico 2.** Efecto de la cantidad de harina de exoesqueleto parcialmente desproteínizado (EPD) sobre la recuperación de esponja de quitina (SPQr)

Las SPQ obtenidas a partir de 12 g de EPD presentaron una mayor masa así como también un tamaño mayor, siendo este último de 9.5 cm de largo por 6 cm de ancho, en comparación con las SPQ obtenidas a partir de 6 y 18 g de EPD. La espuma de quitina al reemplazar el disolvente MAC por agua y convertirse en un gel, disminuye su volumen. El cloruro de calcio, una sal higroscópica, absorbe el vapor de agua de la cámara de humidificación y es disuelto, formando un exudado que sale de la espuma, liberando los puentes de hidrógeno de la quitina. La espuma disminuye el volumen y la quitina reconstruye sus puentes de hidrógeno originando un gel. Como resultado del reordenamiento y asociación de cadenas poliméricas, las microrregiones cristalinas actúan como puntos de

entrecruzamiento o gelación creando una estructura tridimensional, formándose un entramado físico como resultado de las interacciones de los puentes de hidrógeno. Con una concentración baja de polímero no pueden formarse geles macroscópicos y sólo ocurre una dispersión de microgeles o agregados (Yilmaz y Bengisu, 2003). El gel de quitina se considera un gel físico (formado por uniones reversibles como puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas, a diferencia del gel químico formado por uniones irreversibles covalentes) (Berger y col., 2004). Posteriormente, el gel formado sufre un proceso de sinéresis.<sup>15</sup> Hay una reorganización de la red macromolecular con rompimiento y formación de puentes de hidrógeno que incrementan la densidad de entrecruzamiento, el endurecimiento del material y la disminución de volumen. Se considera un proceso cinético y termodinámico que permite un estado más estable que el inicial. El gel pierde masa por la eliminación de agua, hasta en un 70% (Vachoud y col., 2001). Finalmente, el gel de quitina se deshidrata y se seca, para convertirse en SPQ sólida. En general, se obtuvieron esponjas de quitina con las mismas características físicas en los 3 ensayos que se realizaron con 6, 12 y 18 g de EPD, siendo la única diferencia el tamaño de las mismas. Por tal motivo, todas fueron utilizadas para realizar la caracterización mecánica.

#### **4.5 Ensayo de tensión para la caracterización mecánica de esponjas de quitina**

Del ensayo de tensión se obtuvieron las curvas de tensión-deformación (Anexo A) así como los resultados de las propiedades mecánicas de ambos materiales: esponjas de quitina (SPQ) obtenidas por el método de formación de espuma y el poliestireno espumado (PS) comercial, los cuales se muestran en las Tablas 5 y 6 organizados en 3 grupos de acuerdo con los espesores de las probetas (del valor máximo al mínimo). En el Gráfico 3 se muestra la curva de tensión-deformación de la SPQ en donde se señalan algunas de las propiedades mecánicas más importantes determinadas en este estudio. Cabe señalar que el espesor de las probetas no es un factor que influya en las propiedades de tensión de un material.

---

<sup>15</sup> La sinéresis es la concentración del gel provocando la separación del líquido (Flores, 2008)

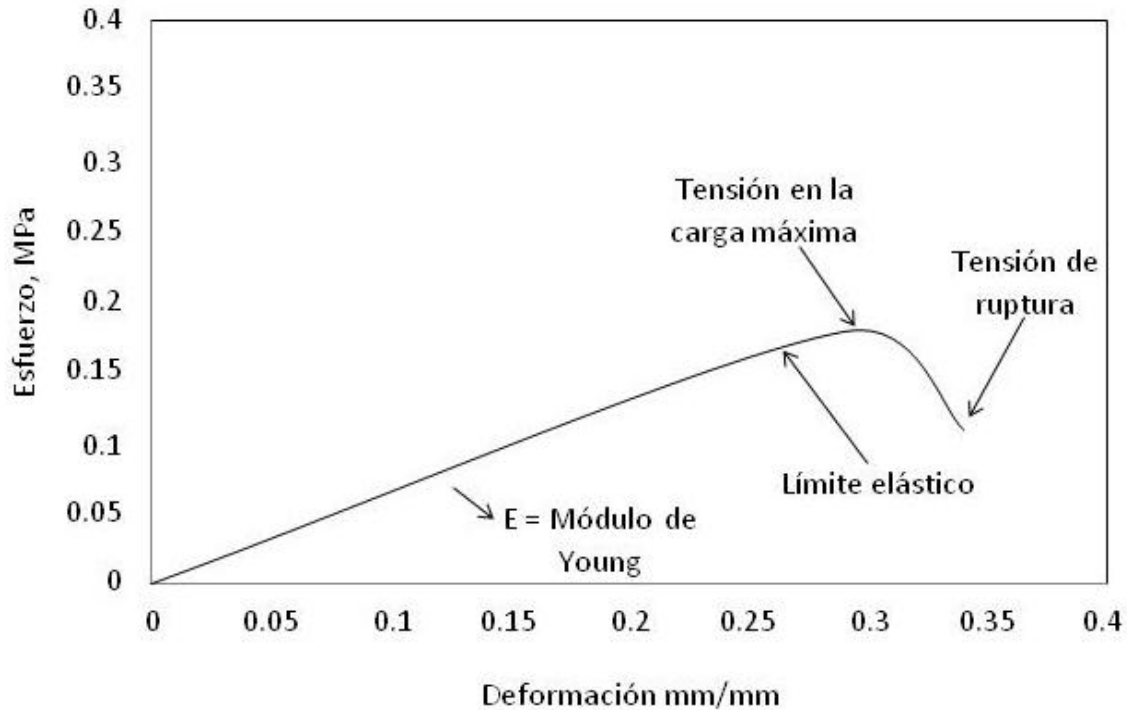
**Tabla 5. Resultados del ensayo de tensión de esponja de quitina (SPQ)**

GRUPO	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	TENSIÓN EN LA CARGA MAX. (MPa)	MÓDULO DE YOUNG (MPa)	TENSIÓN EN PUNTO DE ROTURA (MPa)	DEFORM. EN PUNTO DE ROTURA (mm/mm)	DEFORM. EN LA CARGA MAX. mm/mm)	TENACIDAD (MPa)	DEFORM. % EN LA CARGA MAX. (%)	DEFORM. % EN PUNTO DE ROTURA (%)
1	4.78	0.84	0.09	0.53	0.06	0.43	0.41	0.03	40.47	43.14
	4.85	0.66	0.12	0.80	0.07	0.34	0.34	0.01	33.52	34.38
	5.49	0.65	0.11	1.81	0.07	0.31	0.24	0.03	24.00	31.05
	4.99	0.53	0.14	1.14	0.10	0.43	0.32	0.05	32.09	43.14
	5.13	0.53	0.14	1.96	0.11	0.37	0.23	0.04	23.05	36.48
2	5.02	0.51	0.20	1.70	0.09	0.26	0.23	0.02	23.24	25.62
	5.06	0.43	0.19	2.23	0.10	0.18	0.14	0.02	13.52	17.62
	4.91	0.43	0.13	2.90	0.07	0.27	0.16	0.02	16.29	26.76
	5.1	0.42	0.36	1.49	0.33	0.47	0.45	0.09	44.95	47.15
3	4.96	0.35	0.16	1.60	0.12	0.34	0.29	0.03	29.34	33.62
	4.51	0.31	0.32	4.73	0.18	0.25	0.24	0.05	24.19	25.14
	4.01	0.24	0.20	6.36	0.11	0.29	0.22	0.03	22.00	28.95
	5.34	0.2	0.27	1.66	0.12	0.31	0.29	0.05	28.76	30.76
	4.64	0.17	0.14	6.15	0.07	0.51	0.50	0.05	50.29	51.24
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.91</b>	<b>0.45</b>	<b>0.18</b>	<b>2.50</b>	<b>0.11</b>	<b>0.34</b>	<b>0.29</b>	<b>0.04</b>	<b>28.98</b>	<b>33.93</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>0.36</b>	<b>0.19</b>	<b>0.08</b>	<b>1.88</b>	<b>0.07</b>	<b>0.09</b>	<b>0.11</b>	<b>0.02</b>	<b>10.51</b>	<b>9.44</b>

**Tabla 6.** Resultados del ensayo de tensión de poliestireno espumado (PS)

GRUPO	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	TENSIÓN EN LA CARGA MAX. (MPa)	MÓDULO DE YOUNG (MPa)	TENSIÓN EN PUNTO DE ROTURA (MPa)	DEFORM. EN PUNTO DE ROTURA (mm/mm)	DEFORM. EN LA CARGA MAX. (mm/mm)	TENACIDAD (MPa)	DEFORM. % EN LA CARGA MAX. (%)	DEFORM. % EN PUNTO DE ROTURA (%)
1	5.31	2.5	1.22	35.78	0.83	0.08	0.06	0.07	5.62	7.81
	5.87	2.45	1.12	28.39	1.12	0.05	0.05	0.04	5.05	5.05
	5.3	2.44	1.22	31.79	0.96	0.07	0.06	0.04	6.04	6.70
	5.24	2.3	1.50	39.78	1.50	0.05	0.05	0.06	5.24	5.24
	5.65	2.3	1.21	27.42	0.96	0.07	0.05	0.05	5.24	6.95
2	5.72	2.29	0.72	10.85	0.72	0.10	0.10	0.04	9.53	9.53
	4.71	2.26	1.43	34.48	1.43	0.06	0.06	0.05	5.81	5.81
	5.34	2.22	0.70	9.68	0.70	0.11	0.11	0.05	11.15	11.15
	4.87	2.21	1.39	36.21	1.39	0.04	0.04	0.04	4.29	4.29
	4.75	2.2	1.52	36.45	0.72	0.07	0.06	0.07	5.62	7.14
3	5.65	2.17	1.28	38.37	1.28	0.05	0.05	0.05	5.14	5.14
	4.37	2.15	1.59	31.66	1.59	0.12	0.12	0.05	11.95	11.95
	5.15	2.09	1.50	33.83	0.51	0.08	0.05	0.08	5.43	8.09
	5.32	2.06	0.36	9.37	0.36	0.05	0.05	0.01	4.67	4.67
	5.64	2.06	1.43	36.65	1.43	0.06	0.06	0.07	6.29	6.29
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.26</b>	<b>2.25</b>	<b>1.21</b>	<b>29.38</b>	<b>1.03</b>	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>6.47</b>	<b>7.05</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>0.43</b>	<b>0.14</b>	<b>0.36</b>	<b>10.60</b>	<b>0.39</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>2.38</b>	<b>2.32</b>





**Gráfico 3.** Curva de tensión-deformación de esponja de quitina (SPQ).

Condiciones del ensayo: velocidad = 10 mm/min, distancia inicial = 25.4 mm,  
humedad = 50% y temperatura = 23 °C

En las Tablas 7 y 8 se resumen las propiedades mecánicas de las esponjas de quitina y del poliestireno por grupo.

**Tabla 7.** Propiedades mecánicas de las esponjas de quitina (SPQ)

Grupo	Tensión de ruptura (MPa)	% Elongación de ruptura	Módulo de elasticidad (MPa)	Límite elástico* (MPa)	Energía de tensión de ruptura (MPa)
1	0.08 $\sigma \pm 0.02$	37.64 $\sigma \pm 5.38$	1.25 $\sigma \pm 0.62$	0.12	0.03 $\sigma \pm 0.01$
2	0.15 $\sigma \pm 0.12$	29.29 $\sigma \pm 12.58$	2.08 $\sigma \pm 0.63$	0.21	0.04 $\sigma \pm 0.03$
3	0.12 $\sigma \pm 0.04$	33.94 $\sigma \pm 10.14$	4.10 $\sigma \pm 2.34$	0.20	0.04 $\sigma \pm 0.01$
Promedio general	<b>0.11</b> $\sigma \pm 0.07$	<b>33.93</b> $\sigma \pm 9.44$	<b>2.50</b> $\sigma \pm 1.88$	<b>0.20</b>	<b>0.04</b> $\sigma \pm 0.02$

Los valores reportados son el promedio de 5 determinaciones por grupo

\*Los valores de límite elástico se determinaron de la curva tensión-deformación

**Tabla 8.** Propiedades mecánicas del poliestireno espumado (PS)

Grupo	Tensión de ruptura (MPa)	% Elongación de ruptura	Módulo de elasticidad (MPa)	Límite elástico* (MPa)	Energía de tensión de ruptura (MPa)
1	1.07 $\sigma \pm 0.26$	6.35 $\sigma \pm 1.18$	32.63 $\sigma \pm 5.17$	1.20	0.05 $\sigma \pm 0.01$
2	0.99 $\sigma \pm 0.38$	7.58 $\sigma \pm 2.77$	25.53 $\sigma \pm 13.96$	1.16	0.05 $\sigma \pm 0.01$
3	1.03 $\sigma \pm 0.56$	7.23 $\sigma \pm 2.95$	29.98 $\sigma \pm 11.81$	1.20	0.05 $\sigma \pm 0.03$
Promedio general	<b>1.03</b> $\sigma \pm 0.39$	<b>7.05</b> $\sigma \pm 2.32$	<b>29.38</b> $\sigma \pm 10.60$	<b>1.20</b>	<b>0.05</b> $\sigma \pm 0.02$

Los valores reportados son el promedio de 5 determinaciones por grupo

\*Los valores de límite elástico se determinaron de la curva tensión-deformación

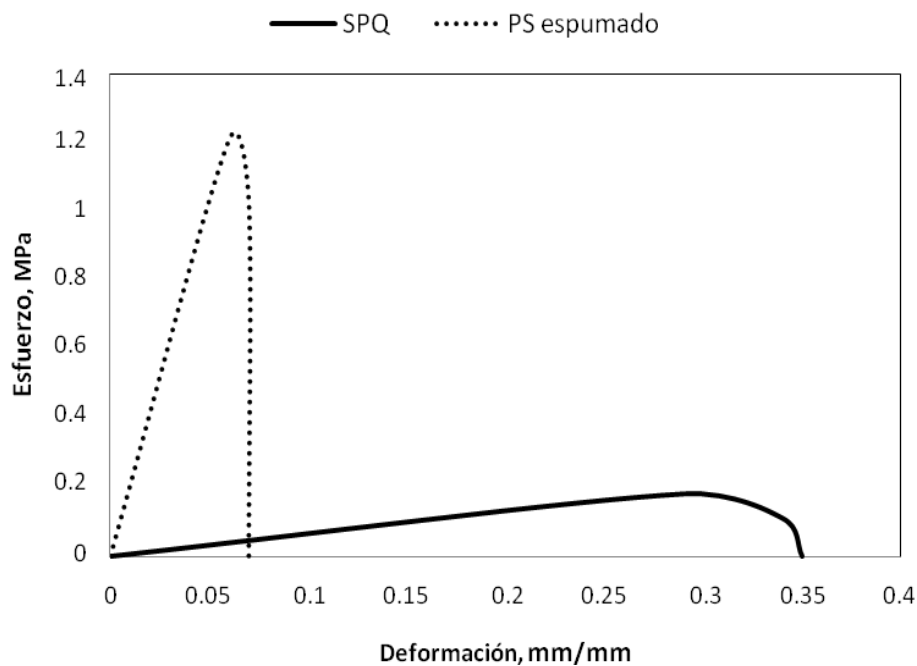
En ellas se contrastan todas las probetas con el promedio general.

Los perfiles de tensión de la SPQ y del PS muestran que la tensión de ruptura fue de 0.11 MPa y 1.03 MPa, respectivamente. Este valor caracteriza la rápida propagación de grietas en el material y consiguiente fractura del mismo (Albella y col., 1993); el % de elongación de ruptura fue de 33.93% para la SPQ y de 7.05% para el PS e indica el incremento en la longitud de la probeta (medida después de la ruptura) dividido por la longitud de la probeta original y, como se mencionó anteriormente, es una medida de la ductilidad del material. Esto indica que las esponjas de quitina son más dúctiles que el poliestireno espumado. La elongación es un tipo de deformación que simplemente expresa el cambio en la forma que experimenta el material. En este caso, la SPQ bajo tensión tuvo un módulo de elasticidad de 3.77 MPa y para el PS espumado fue de 29.38 MPa. Este valor hace referencia a la pendiente de la sección en línea recta de la curva esfuerzo-deformación (en la que las tensiones y deformaciones son paralelas). El límite elástico fue de 0.20 MPa y 1.20 MPa para SPQ y PS, respectivamente, e indica el mayor esfuerzo que se puede aplicar sin causar una deformación permanente o plástica. En este caso se obtuvo haciendo una aproximación en la curva esfuerzo-deformación (Gráfico 3). Finalmente, la energía de tensión de ruptura o tenacidad

fue de 0.04MPa para SPQ y de 0.05MPa para PS y se refiere a la energía que la muestra puede absorber antes de romperse.

Para hacer el análisis y comparar las propiedades mecánicas de las SPQ y el PS espumado comercial se utilizaron los promedios generales obtenidos para cada prueba, reportados en las Tablas 7 y 8. Adicionalmente, se hizo una comparación con las SPQ obtenidas por Flores (2008). Los resultados se resumen en los Gráficos 4, 5 y 6 y en la Tabla 9.

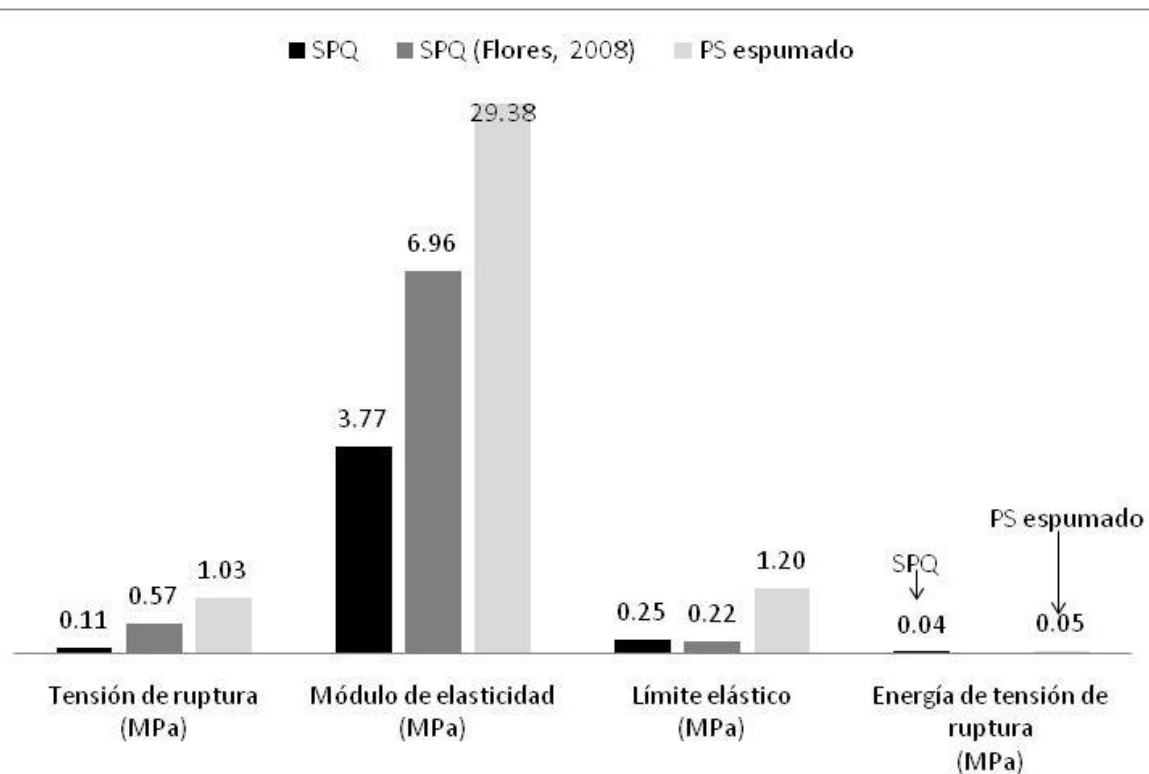
El perfil de tensión de los 3 materiales muestra diferencias entre ellos. La tensión de ruptura y el módulo de elasticidad de la SPQ obtenida en este trabajo, fueron mucho menores que los resultados de la SPQ obtenida por Flores (2008) y del PS espumado. De acuerdo con los resultados del módulo de elasticidad se puede señalar que el PS es más rígido que las SPQ. Esta última está formada de quitina, proteínas y carbonato de calcio que le dan a la esponja una estructura amorfa.



**Gráfico 4.** Análisis de tensión de esponja de quitina (SPQ) y poliestireno espumado (PS) (Condiciones del ensayo: velocidad = 10mm/min, distancia inicial = 25.4mm, humedad = 50% y temperatura = 23°C)

Existe una dependencia lineal entre la fuerza ejercida y la deformación que se representa por la ley de Hooke. El coeficiente de proporcionalidad es el módulo de

elasticidad, en la curva de tensión (Gráfico 3). Esta región se conoce como zona elástica. Una pendiente pronunciada (módulo de elasticidad grande) indica que se requieren fuerzas grandes para separar las moléculas del polímero y hacer que el material se estire en forma elástica. La deformación desaparece cuando se elimina el esfuerzo aplicado. El módulo de elasticidad depende de factores como la orientación de un material monocristalino, la magnitud de los poros y los componentes del material. Una muestra rígida con módulo de elasticidad grande presenta cambios dimensionales mucho menores cuando el esfuerzo aplicado es relativamente pequeño y, en consecuencia, sólo causa deformación elástica (Albella y col., 1993).



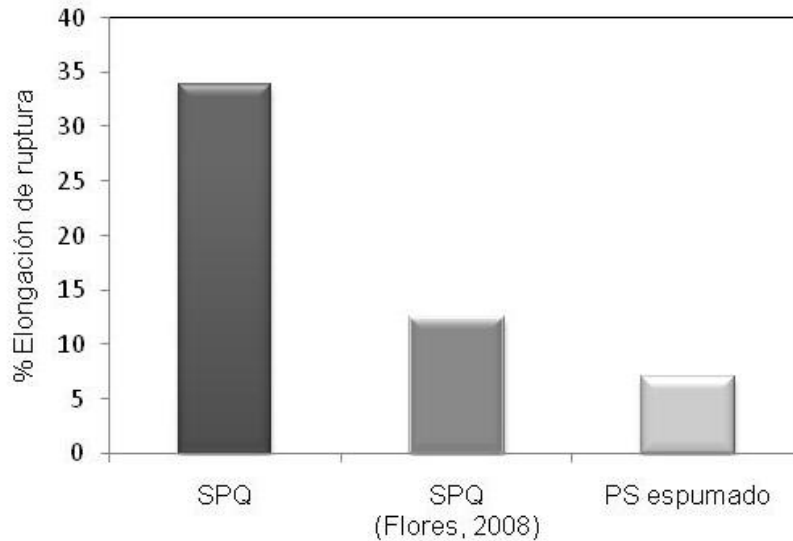
**Gráfico 5.** Comparación de las propiedades mecánicas de esponja de quitina (SPQ), SPQ (Flores, 2008) y poliestireno espumado PS

**Tabla 9.** Propiedades mecánicas de esponja de quitina (SPQ), SPQ (Flores, 2008) y poliestireno espumado (PS)

Material	Tensión de ruptura (MPa)	% Elongación de ruptura	Módulo de elasticidad (MPa)	Límite elástico (MPa)	Energía de tensión de ruptura (MPa)
SPQ	0.11	33.93	3.77	0.20	0.04
SPQ (Flores, 2008)	0.57	12.48	6.96	0.22	0.05
PS espumado	1.03	7.05	29.38	1.20	0.05

El límite elástico, tanto en la SPQ y la SPQ obtenida por Flores (2008), presentó valores parecidos; en cambio, para el PS fue más alto. Al aplicar una fuerza a la esponja, primero, sufre una deformación elástica. Sin embargo, al continuar aumentando el esfuerzo aplicado, empieza a presentarse deformación elástica y plástica (deformación permanente). Cuando el esfuerzo cesa, el material permanece con el tamaño que adquirió tras la aplicación de la fuerza. Al final, el material *cede* al esfuerzo aplicado y se produce la fractura del sólido. El límite elástico indica el valor del esfuerzo arriba del cual la relación entre esfuerzo y deformación deja de ser lineal. Este esfuerzo corresponde al desenredado de las cadenas moleculares en el polímero o al deslizamiento de las cadenas entre sí (Askeland, 2006). El valor de límite elástico obtenido para la SPQ está relacionado con su estructura amorfa que tiene menos puentes de hidrógeno formados y, por lo tanto, puede deformarse con mayor facilidad (Flores, 2008).

La energía de tensión de ruptura (tenacidad) es el área bajo la curva de tensión y representa la energía que absorbe el material antes de fracturarse. Las energías de tensión a la ruptura de la SPQ y del poliestireno espumado resultaron de la misma magnitud, es decir, absorbieron casi la misma energía antes de romperse.



**Gráfico 6.** Comparación del porcentaje de elongación de esponja de quitina (SPQ), SPQ (Flores, 2008) y poliestireno espumado PS

El porcentaje de elongación de la SPQ, obtenida en este trabajo, fue casi tres veces mayor que el de la SPQ obtenida por Flores (2008) y casi cinco veces mayor que el de PS espumado comercial. La SPQ necesita un esfuerzo pequeño para una deformación grande, mientras que el poliestireno se deforma muy poco con un gran esfuerzo.

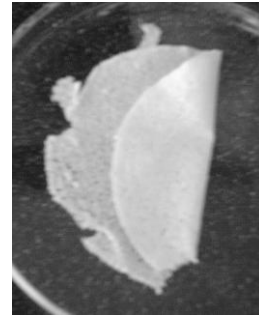
En las Fotografías 1 a 10 se presentan algunas de las esponjas obtenidas. La coloración no es blanca sino marfil. Esta coloración puede modificarse usando también “blanqueadores ópticos” que no alteren su biodegradabilidad.

#### 4.6 Discusión final

Las propiedades físicas y mecánicas de las esponjas de quitina fueron comparadas con las del poliestireno espumado comercial. Los resultados de esta comparación son:



**Fotografía 1.** Precipitación de quitina en forma de esponja



**Fotografía 2.** Esponja de quitina circular flexible



**Fotografía 3.** Esponja de quitina circular de aproximadamente 9 cm de diámetro



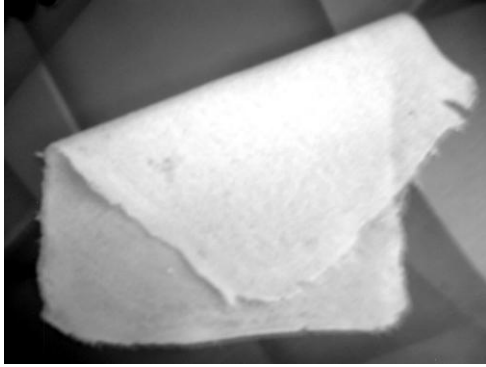
**Fotografía 4.** Probetas de SPQ utilizadas en el ensayo de tensión



**Fotografía 5.** Esponja de quitina rectangular de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo



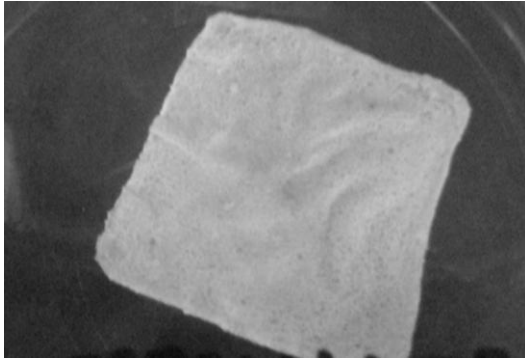
**Fotografía 6.** Esponja de quitina rectangular flexible de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo



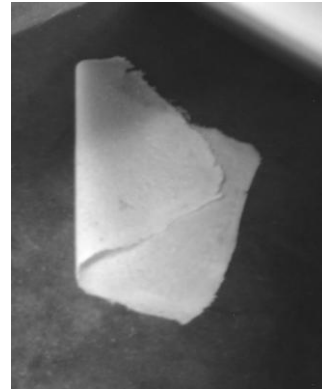
**Fotografía 7.** Esponja de quitina rectangular de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo



**Fotografía 8.** Esponja de quitina rectangular flexible de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo



**Fotografía 9.** Esponja de quitina rectangular de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo



**Fotografía 10.** Esponja de quitina rectangular flexible de aproximadamente 6 cm de ancho por 9 cm de largo

Tensión de ruptura: Se obtuvo un valor para la SPQ de 0.11 MPa y esto se refiere al esfuerzo que fue aplicado para romper la esponja, por lo tanto la SPQ necesita menos *fuerza* para romperse en comparación con el PS que obtuvo un valor de 1.03 MPa. Esto significa que, para sustituir a productos elaborados con poliestireno empleando espumas de quitina. Será necesario cambiar la formulación de la espuma para que tenga una tensión similar.

% de elongación de ruptura: Se obtuvo un valor para SPQ de 33.93%, mucho mayor al obtenido para PS espumado el cual tuvo un porcentaje de 7.05%. Esto indica que las SPQ obtenidas son más *dúctiles*. Nuevamente, al igual que con la



propiedad anterior, si se desean fabricar espumas similares a las de poliestireno será necesario adicionar agentes plastificantes para obtenerlas.

Módulo de elasticidad: El valor de la SPQ que se obtuvo fue de 3.77 MPa y para PS de 29.38 MPa y esta propiedad indica la *rigidez* de un material. Por lo tanto, el PS es más rígido que la espuma de quitina obtenida.

Límite elástico: Para esta prueba el resultado se obtuvo gráficamente e indica el valor crítico del esfuerzo necesario para iniciar la deformación plástica. Para SPQ el valor fue de 0.2MPa y para PS el valor fue mucho mayor, de 1.2 MPa. Por tanto, el uso de plastificantes que endurezcan las espumas de quitina será necesario para aumentar su valor del límite elástico.

Energía de tensión de ruptura: Los valores de la SPQ y del poliestireno espumado resultaron de la misma magnitud, es decir, absorben prácticamente la misma energía antes de romperse.

Flores (2008) obtuvo una esponja de quitina siguiendo la metodología descrita en este trabajo. La tensión de ruptura fue de 0.57MPa. El porcentaje de elongación de ruptura fue 12.48% y el módulo de elasticidad de 6.96MPa. La tensión de ruptura es mayor a la obtenida en este trabajo. El porcentaje de elongación es menor y el módulo de elasticidad es mayor. Esto indica que la esponja de quitina obtenida en este trabajo es más amorfa. Será importante en investigaciones futuras modificar las condiciones de fabricación para mejorar estas propiedades.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

De acuerdo con el objetivo planteado al inicio de esta investigación, el cual fue el de obtener esponjas de quitina a partir de cefalotórax de camarón y realizar su caracterización mecánica, empleando para ello tecnologías limpias que no dañen el ambiente, las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

Se puede aprovechar hasta el 30% del total de camarón que es considerado como desperdicio para la extracción de quitina y elaboración de esponjas.

Licuar los exoesqueletos y el cefalotórax de camarón con agua consigue eliminar parte de las proteínas presentes aumentando la proporción de quitina de 18%, en el cefalotórax de camarón, a 28%, en el cefalotórax parcialmente desproteínizado, evitando el uso de soluciones alcalinas para desproteínizar.

La mezcla metanol, agua y cloruro de calcio en una relación de un mol de metanol, cuatro moles de agua y un mol de cloruro de calcio (disolvente MAC-141 ©) es un buen disolvente para la quitina. La extracción de quitina del cefalotórax de camarón se realizó a 25°C durante 48 horas con una relación en peso CPD/MAC 1:10.

La quitina fue disuelta cuando el calcio rompe los puentes de hidrógeno de la quitina. En la solución saturada de metanol-agua-cloruro de calcio, el calcio tiene su envoltura de solvatación iónica completa. Para completarla se une a la quitina, formando un complejo soluble, rompiendo los puentes de hidrógeno de la quitina (principio científico de esta investigación) (Flores, 2008).

La solución de quitina, por la presencia de proteínas disueltas, puede formar espuma que, al perder el disolvente, origina una esponja. La esponja de quitina se obtiene sin necesidad de liofilizar.

La concentración de harina de exoesqueleto de camarón parcialmente desproteínizado (EPD) con la cual se obtiene una mayor cantidad de quitina en solución fue la de 12 g, además de obtenerse mayor cantidad de SPQr lo cual se ve reflejado en el tamaño y masa de las esponjas.

Con el aumento de la concentración de EPD, la viscosidad de las soluciones de quitina aumenta y se ve disminuida la eficiencia del proceso de recuperación de QUIMAC.

La composición de la esponja de quitina es de aproximadamente 57% de quitina, 14% de proteínas y 29% de carbonato de calcio (Flores, 2008).

La esponja de quitina, obtenida por disolución y precipitación, posee propiedades mecánicas diferentes a las propiedades de una esponja de poliestireno espumado comercial.

Algunas de las ventajas de obtener esponjas de quitina por este método es que el disolvente se puede reciclar, todas las operaciones son realizadas a temperatura ambiente y la materia prima obtenida, que es considerada un desecho para la industria de alimentos, es una materia prima valiosa para la producción de esponjas de quitina y otros productos.

## **5.2 Recomendaciones**

Para obtener una mayor concentración de quitina en la harina de camarón parcialmente desproteínizado, el licuado se debe filtrar con una malla de tamaño de poro pequeño (100  $\mu\text{m}$ ) para poder retener las pequeñas partículas de quitina producidas.

Se debe ensayar la extracción sólido-líquido con los exoesqueletos y el cefalotórax parcialmente desproteinizado frescos en lugar de secar previamente a la extracción. Se ahorraría energía y probablemente mejore la extracción.

Se debe optimizar (mecanizar) el proceso de filtración con equipo Millipore, pues debido a la alta viscosidad de la solución de quitina, no se logra totalmente la extracción, reduciendo la eficiencia del proceso de separación.

En la espuma de quitina se debe probar cambiar el agua, en etapas, por otro disolvente o mezcla de disolventes para tratar de disminuir la pérdida de volumen durante el secado.

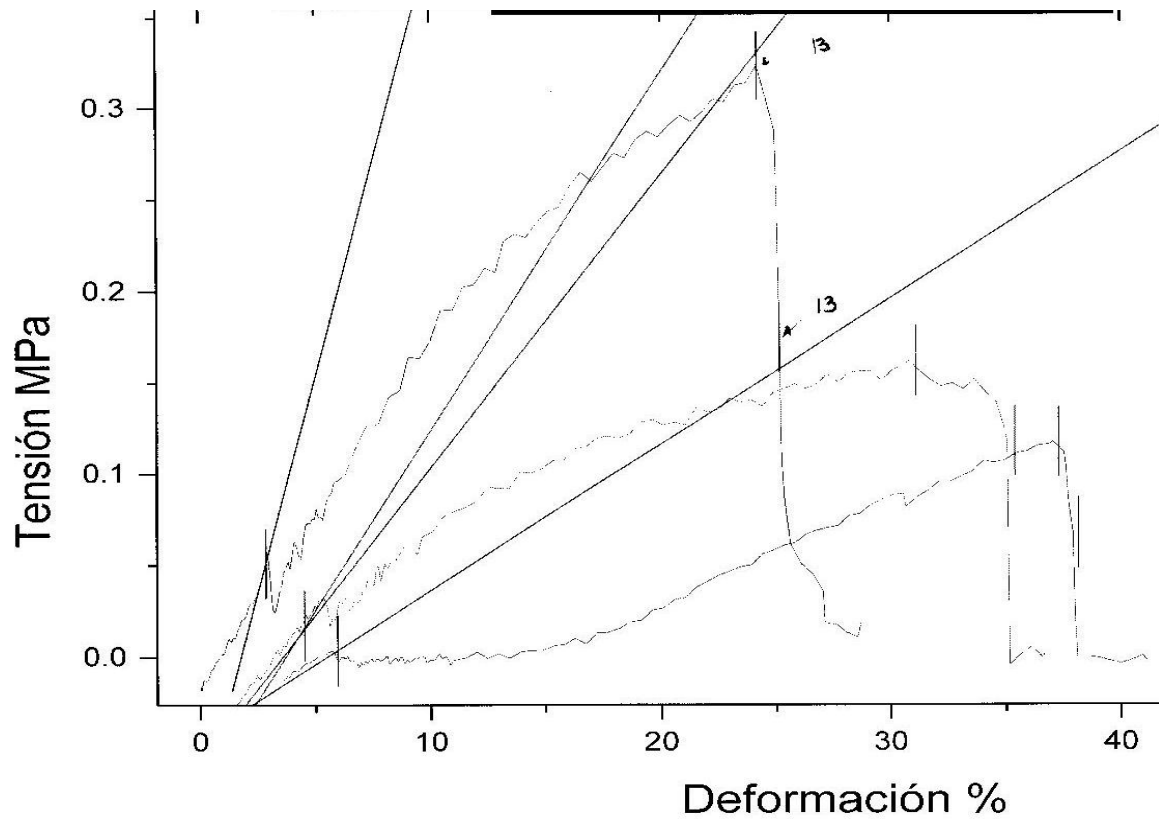
Como una continuación de este estudio, se sugiere la adición de agentes plastificantes o recubrir las esponjas con los mismos, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de las esponjas de quitina y evaluar la posibilidad de que sean utilizadas en la elaboración de recipientes biodegradables para alimentos actualmente fabricados con espumas de poliestireno.

Se recomienda realizar un estudio de la morfología interna y tamaño de poro a las esponjas que se obtuvieron en esta investigación mediante microscopía electrónica de barrido para poder comparar datos numéricos de las esponjas que se obtuvieron con Flores (2008) y las futuras pruebas con agentes plastificantes.

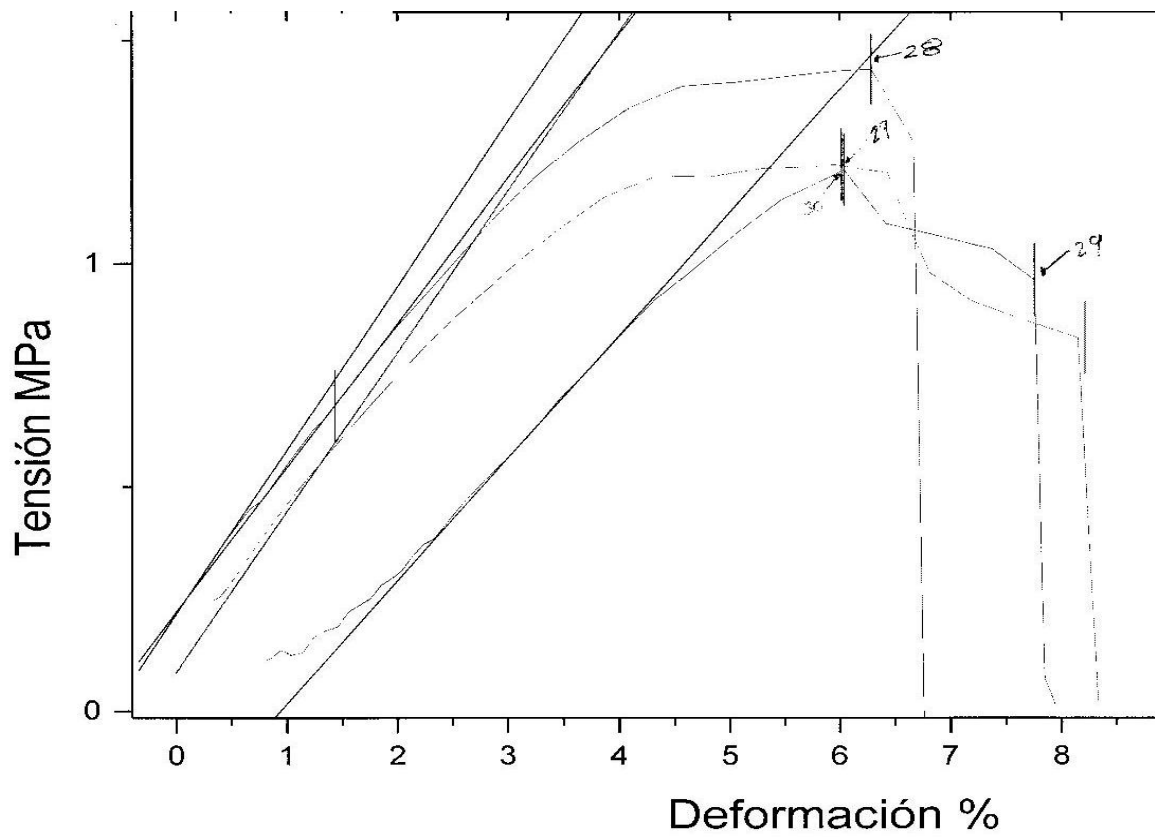
También se recomienda realizar un análisis químico bromatológico (AQB) para obtener datos confiables sobre la certeza de obtener lo que se reporta en las diferentes fuentes bibliográficas.

## ANEXO A

### Curvas de tensión-deformación de esponjas de quitina (SPQ) y poliestireno espumado (PS)



**Figura A1.** Análisis de tensión de esponja de quitina (SPQ) realizado en equipo Instron 5500R modelo 1125. Condiciones del ensayo: velocidad = 10 mm/min, distancia inicial = 25.4 mm, humedad = 50% y temperatura = 23 °C



**Figura A2.** Análisis de tensión de poliestireno espumado (PS) realizado en equipo Instron 5500R modelo 1125. Condiciones del ensayo: velocidad = 10 mm/min, distancia inicial = 25.4 mm, humedad = 50% y temperatura = 23 °C

## BIBLIOGRAFÍA

**Amass, W., Amass. A. Tighe, B.** *A review of biodegradable polymers: Uses, current developments in the synthesis and characterization of biodegradable polyesters, blends of biodegradable polymers and recent advances in biodegradations studies.* Polymer international. 47:89-144. 1998

**Albella, J.M., Miranda, T., Cintas, A.M., Serratosa, J.M.** *Introducción a la ciencia de materiales. Técnicas de preparación y caracterización.* Madrid. 1993

**Anastas, P., Warner, J.** *Green Chemistry: Theory and Practice.* Oxford University Press, Nueva York, EE.UU. 1998

**AOAC.** *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.* William Horwitz, ed. 13<sup>a</sup> Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. EE.UU. 1980

**Askeland, R. D.** *Ciencia e ingeniería de los materiales.* Ed. Thomson. 4a ed. México. 2006

**ASTM.** *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting D882* American Standard Testing and Materials. Washington, DC. EE.UU. 2002

**Avérous, L., Boquillon, N.** *Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours.* Carbohydrate Polymer. 56:111-112. 2004

**Barrera-Rodríguez,S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C.** *Extracción de quitina del cefalotórax de camarón para la elaboración de películas / Chitin extraction from shrimp cephalothorax and exoskeleton for films preparation.* Volumen 10. Serie: Tecnologías más limpias. 2<sup>a</sup>. Ed. Pub. PIQAYQA-FQ-UNAM. México, D.F. 2007

**Bastioli, C.** *Global status of the production of biobased packaging materials.* Starch/Stärke. 53:351-355. 2001

**Berger, J., Reist, M., Mayer, J., Felt, O., Peppas, N. Gurny, R.** *Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications.* European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 57:19-34. 2004

**Cañipa, A., Durán, M.C., Escobedo, G., García, R.** *Aprovechamiento integral de cefalotórax de camarón.* Serie "Tecnologías más limpias". Vol. 3, UNAM, PIQAyQA. ISBN 968-36-4104-0. México, D.F. 1994

**Cárdenas, G., Cabrera, G., Taboada, E., Miranda, P.** *Chitin characterization by SEM, FTIR, XRD, and <sup>13</sup>C Cross polarization/Mass angle spinning NMR.* Journal of Applied Polymer Science. 93: 1876-1885. 2004

**Chow, K., Khor, E.** *Novel fabrication of open-pore chitin matrix.* Biomacromolecules. 1:61-67. 2000

**CONAPESCA.** *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2005.* SAGARPA. México D. F. 2005

**CONAPESCA.** *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2009.* Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Sinaloa, México. 2009

**Duarte-de-Holanda, H.; Netto, F. M.** *Recovery of components from shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis.* J. Food Sci. 71(5):298-303. 2006



**Fedorak, PM.**, *Microbial processes in the degradation of fibres; Biodegradable and sustainable fibers*; Ed. Blackburn, RS; Woodhead Publishing in association with The Textile Institute Abington Hall; Cambridge, England. 2005

**Flores, R.** *Bioplástico de quitina. Formación de películas de quitina a partir de desechos de camarón por métodos ecológicos*. Tesis de Maestría, UNAM, México, D.F. 2004

**Flores, R.** *Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax de camarón*. Tesis Doctoral, UNAM, México D.F. 2008

**Flores-Ortega, R.A., Barrera-Rodríguez, S., Durán-Domínguez, M.C.** *Extracción ecológica de quitina y subproductos*. Solicitud de Registro de Patente: Octubre 1, 2004. Facultad de Química, UNAM. Instituto Mexicano de la Protección Industrial. **IMPI. Número 264482**. Otorgada el 12 de febrero de 2009. México, D.F. México. 2004

**Gudmund, S., Anthonsen, T., Sandford, P.** *Chitin and chitosan. Sources, chemistry, biochemistry, physical properties, and applications*. Ed. Elsevier Applied Science. Nueva York. EEUU. 1989

**Khor, E.** *Chitni: A biomaterial in waiting. Current Opinion in Solid State & Materials Science*. 6:313-317. 2002

**Okada, M.** *Chemical syntheses of biodegradable polymers*. Progress in Polymer Science. 27:87-133. 2002

**Parker, H.** *Texto simplificado de mecánica y resistencia de materiales*. Limusa. México. 2002

**Peniston, Q., Johnson, E.** *Process for the recovery of chemicals from the shells of crustacean.* Patente No. US4199496, EE.UU. 1980

**Petersen, K., Nielsen, P., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M., Nilsson, N., Mortensen, G.** *Potential of biobased materials for food packaging.* Trends in Food Science & Technology. 10:52-68. 1999

**Roberts, G.** *Chitin chemistry.* Macmillan Press Ltd. Londres, Reino Unido. 1992

**Robertson, G. L.** *Food packaging. Principles and practice.* 2a ed. CRC, Taylor and Francis Group; EEUU. pp. 1-19, 43-54, 286-291. 2006

**Seol, Y., Lee, J., Park, Y., Lee, Y., Ku, Y., Rhyu, L., Lee, S., Han, S. , Chung, Ch.** *Chitosan sponges as tissue engineering scaffolds for bone formation* Biotechnology Letters. 26:1037-1041. 2004

**Seymour, R., Carear, C.** *Introducción a la química de los polímeros.* Ed. Reverté. Barcelona, España. 1998

**Shahidi, F., Synowiecki, J.** *Isolation and characterization of nutrients and value-added products from snow crab (*Chionoecetes opilio*) and shrimp (*Pandalus borealis*) processing discards.* Journal of Agricultural and Food Chemistry. 39:1527-1532. 1991

**Singer, N., Wooten, J.** *Method of extracting chitin from the shells of exoskeletal animals.* Patente No. US2003/0060610, EEUU. 2003

**Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.** *Gestión integral de residuos sólidos.* McGraw-Hill, Madrid, España. 825 págs. 1994

**Tharanathan, R.** *Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future.* Critical Review in Food Science and Technology. 14:71-78, 2003

**Vachoud, L., Zydowics, N., Domard, A.** *Sorption and desorption studies on chitin gels.* International Journal of Biological Macromolecules. 28:93-101. 2001

**Wang, Y., Rakotonirainy, M., Papua, W.** *Thermal behavior of Zein base biodegradable films.* Starch/Stärke. 55:25-29. 2003

**Yilmaz, E., Bengisu, M.** *Preparation and characterization of physical gel and beads from chitin solutions.* Polymers. 54:479-488. 2003

#### **De las redes internacionales:**

**Anónimo.** 2000. Investigación y Desarrollo. *La quitina y su potencial industrial.* **Periodismo de Ciencia y Tecnología.** Noviembre, 2000 (**en línea, disponible en** la página <http://www.invdes.com.mx/antiores/Noviembre2000/htm/quitina.html>; del *internet.* Fecha de consulta el 20 de agosto de 2008)

**Demuner, M., Verdalet, I.** 2004. *Envases, empaques y embalajes alimentarios.* La ciencia y el hombre. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana. Vol.17 (2) Mayo-Agosto, 2004 (**en línea, disponible en** la página <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol17num2/articulos/clima/index.htm>; del *internet.* Fecha de consulta el 20 de agosto de 2008)

**SAGARPA** (**en línea, disponible en** la página <http://informacionpublica.gob.mx>; del *internet.* Fecha de consulta el 15 de noviembre de 2009)