



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

“EFECTO DE
AGENTES PLASTIFICANTES NATURALES
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
DE ESPONJAS DE QUITINA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

I N G E N I E R O Q U Í M I C O

P R E S E N T A :

I S R A E L V A L E N C I A Á V I L A

Directora de tesis: Dra.-Ing. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

Asesor Técnico: M. en C. Rolando Salvador García Gómez

MÉXICO, D.F. 2012



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/ 153/12

ASUNTO: Asignación de Jurado

Alumno (a):

Valencia Ávila Israel

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ
VOCAL	DRA. MARÍA DEL CARMEN DURÁN DOMÍNGUEZ DE BAZÚA,*
SECRETARIO	I. Q. JOSÉ BENJAMÍN RANGEL GRANADOS
SUPLENTE	M. en C. FAUSTO CALDERAS GARCÍA
SUPLENTE	I. Q. CONSUELO MATÍAS GARDUÑO

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

México D.F., a 11 de abril de 2012

JEFE DE CARRERA

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA



Dedicada

A mi papá, Agustín Valencia Tapia (†) y a mi hermano Agustín Valencia Ávila (†) a quienes recuerdo con cariño y siempre serán parte importante de mi.

Muy especialmente a mi mamá, María Elena Ávila Beltrán, que no sólo me dio la vida sino que además me ha compartido la de ella y me ha motivado a través de su afecto...

A mis hermanos “emamel” y “Dianis” por su apoyo a lo largo de mi vida, que con palabras y ejemplos enriquecieron mi pensamiento, a ellos, junto a quienes disfrute creciendo y de quienes aprendí tantas cosas.

A mis apreciables amig@s, con l@s que compartí sonrisas y que permanecen en mi memoria, con quienes recorrí mi edad escolar y conocí de ciencia y virtud

A Armando (Mounrra) y a Hugo (Pusi) por su invaluable amistad

A la Maestra Georgina Contreras Santos por su amistad y sus valiosas enseñanzas que me acercaron al mundo de la Química

Agradezco

A toda mi familia por ser parte fundamental de este logro

A la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa por brindarme su asesoría, tiempo y confianza para poder realizar mi tesis en los laboratorios a su cargo, lo que me ha permitido obtener desarrollo profesional a través de una experiencia satisfactoria.

Al maestro Rolando Salvador García Gómez por su asesoramiento y su dedicación a la revisión de este trabajo.

Al Dr. Ricardo Vera Graziano y al Ing. Ernesto Sánchez Colín del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM por las facilidades otorgadas para la realización de las pruebas mecánicas.

A mis sinodales por sus aportaciones precisas a mi trabajo de tesis.

Al Ing. Raúl Ramón Mora Hernández que apoyo de manera importante la consecución de esta meta.

A mis compañer@s de laboratorio (Ale, Pau, Susi, Benja, Leonel y José Manuel) que compartieron sus conocimientos conmigo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Abreviaturas	
Resumen	
1.0	CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA
1.1	Introducción 2
1.2	Justificación del tema 3
1.3	Planteamiento del problema 4
	1.3.1 Producción 4
	1.3.2 Usos 4
	1.3.3 Desechos 5
1.4	Reciclabilidad 5
1.5	Factores que influyen en el uso de biopolímeros 6
	Disminución del petróleo 6
	Daño ecológico 7
	Desarrollo sustentable 7
1.6	Bioenvase 8
	1.6.1 Envase verde 8
	1.6.2 Reemplazo de los materiales de envase 8
1.7	Estudios relacionados con biopolímeros y bioenvases para alimentos 9
1.8	La quitina como alternativa al poliestireno 10
	1.8.1 Ensayos previos para elaborar esponjas de quitina 11
	1.8.2 Ensayos previos sobre la biodegradación de películas y esponjas de quitina 11
1.9	Propuestas 11
	1.9.1 Objetivo general 12
	1.9.2 Objetivo particular 12
	1.9.3 Beneficios 12
	1.9.4 Hipótesis 12
2.0	CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN
2.1	Generalidades de la quitina 14
2.2	Estructura de la quitina y quitosana 14
2.3	Propiedades de la quitina 16
2.4	Asociaciones de la quitina 17
	2.4.1 Asociación quitina-sales 17
	2.4.2 Asociación quitina-proteínas 17
	2.4.3 Asociación quitina-carotenoides 17

	Página
2.5	Composición de la cabeza de camarón 18
2.6	Aditivos 19
2.6.1	Aditivos de procesamiento 19
2.6.2	Aditivos funcionales 20
2.6.3	Aditivos multifuncionales 20
2.7	Plastificantes 20
2.7.1	Plastificantes internos 20
2.7.2	Plastificantes externos 20
2.8	Sorbitol 21
2.8.1	Obtención del sorbitol 21
2.8.2	Aplicaciones del sorbitol 22
2.9	Grenetina 22
2.10	Propiedades mecánicas 23
2.10.1	Tensión en la carga máxima 23
2.10.2	Tensión en el punto de ruptura 23
2.10.3	Módulo de elasticidad o de Young 24
2.10.4	Porcentaje de elongación 24
2.10.5	Tenacidad 24
2.10.6	Límite elástico 25
3.0	CAPÍTULO 3: EXPERIMENTACIÓN
3.1	Procedimientos 27
3.1.1	Obtención de quitina 27
3.1.2	Obtención del cefalotórax parcialmente desproteínizado, CPD 27
3.1.3	Preparación del disolvente formado por metanol-agua-cloruro de calcio en proporciones molares 1:4:1, MAC141© 28
3.1.4	Obtención de la quitina en disolvente metanol-agua-cloruro de calcio, QUIMAC, y preparación de la esponja de quitina 30
3.1.5	Corte de probetas y elaboración de plastificantes 31
3.1.6	Aplicación de plastificantes 32
3.2	Diagrama de bloques de la experimentación 32
3.3	Pruebas mecánicas 32
3.3.1	Extracto de la norma ASTM D882-02 34
3.3.2	Extracto de la norma ASTM D638-03 34
3.3.3	Controles 35
3.4	Análisis estadístico de los datos experimentales 35
4.0	CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN
4.1	Recuperación del cefalotórax parcialmente desproteínizado 37
4.2	Elaboración de muestras 37
4.3	Adición de agentes plastificantes 38

	Página
4.4	Análisis de las dimensiones de las muestras 40
4.5	Resultados de pruebas mecánicas 41
4.5.1	Pruebas a esponjas sin plastificar 41
4.5.1	Pruebas a esponjas con grenetina 41
4.5.2	Pruebas a esponjas con sorbitol 41
4.5.4	Pruebas a muestras control (poliestireno) 41
4.6	Resumen de resultados 44
4.6.1	Análisis de los datos obtenidos de las pruebas mecánicas 44
4.7	Análisis estadístico 46
4.8	Diferencias significativas 48
4.9	Gráficos comparativos 50
5.0	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
5.1	Conclusiones 54
5.2	Recomendaciones 55
	BIBLIOGRAFÍA
	ANEXOS
A.1	Reactivos y materias primas
A.2	Materiales, equipo y servicios
A.3	Datos estadísticos obtenidos del paquete Statgraphics Plus 5.1
A.4	Acervo fotográfico de la experimentación
A.5	Disposición controlada de residuos de esta investigación

ÍNDICE DE TABLAS

	Página	
Tabla 1.1	Mecanismo de degradación de los biopolímeros	9
Tabla 1.2	Fuentes alternativas de biopolímeros	9
Tabla 4.1	Extracción de cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteinizados (CPD)	37
Tabla 4.2	Obtención de esponja de quitina a partir de CPD	38
Tabla 4.3	Masa y dimensiones de las muestras utilizadas en la experimentación	39
Tabla 4.4	Promedio de pesos y dimensiones de las muestras de esponja de quitina con y sin plastificante y de poliestireno sin espumar y espumado	40
Tabla 4.5	Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a las esponjas de quitina sin plastificar	42
Tabla 4.6	Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a esponjas de quitina tratadas con soluciones a base de gretina	42
Tabla 4.7	Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a esponjas de quitina tratadas con soluciones a base de sorbitol	41
Tabla 4.8	Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a muestras de poliestireno espumado y sin espumar	43
Tabla 4.9	Promedio de pesos y dimensiones de las muestras de esponja de quitina con y sin plastificante y de poliestireno espumado y sin espumar	44
Tabla 4.10	Andeva (ANOVA) para tensión en la carga máxima	46
Tabla 4.11	Pruebas de múltiple rangos para tensión en la carga máxima	46
Tabla 4.12	Andeva (ANOVA) para tensión en el punto de ruptura	46
Tabla 4.13	Pruebas de múltiple rangos para tensión en el punto de ruptura	46
Tabla 4.14	Andeva (ANOVA) para Módulo de Young	47
Tabla 4.15	Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Young	47
Tabla 4.16	Andeva (ANOVA) para Deformación en la carga última	47
Tabla 4.17	Pruebas de Múltiple Rangos para Deformación en la carga última	47
Tabla 4.18	Andeva (ANOVA) para Tenacidad	47
Tabla 4.19	Pruebas de Múltiple Rangos para Tenacidad	48
Tabla 4.20	Andeva (ANOVA) para Límite elástico	48
Tabla 4.21	Pruebas de Múltiple Rangos para Límite elástico	48
Tabla 4.22	Diferencias significativas	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página	
Figura 1.1	Símbolo de clasificación para el reciclado del Poliestireno	6
Figura 1.2	Esquema de los tres pilares del desarrollo sustentable	7
Figura 2.1	Estructura molecular de la quitina	15
Figura 2.2	Estructura molecular de la celulosa	15
Figura 2.3	Estructura molecular de la quitosana	15
Figura 2.4	Polimorfismo de la quitina	16
Figura 2.5	Estructura cristalina de la α -quitina con puentes de hidrógeno intra e intermoleculares	16
Figura 2.6	Usos de los subproductos de camarón	19
Figura 2.7	Estructura del sorbitol	21

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1	Caracterización de cefalotórax de camarón fresco	18
Gráfica 3.1	Aumento de la viscosidad de la mezcla CPD-MAC141© en función del tiempo de extracción	30
Gráfica 3.2	Diagrama de bloques de la experimentación seguida	33
Gráfica 4.1	Comparativo de resultados promedio de tensión en la carga máxima	50
Gráfica 4.2	Comparativo de resultados promedio de tensión en el punto de ruptura	50
Gráfica 4.3	Comparativo de resultados promedio del módulo de Young	51
Gráfica 4.4	Comparativo de resultados promedio de deformación en la carga última	51
Gráfica 4.5	Comparativo de resultados promedio de tenacidad	52
Gráfica 4.6	Comparativo de resultados promedio del límite elástico	52

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1	cefalotórax de camarón parcialmente desproteínizado	28
Fotografía 3.2	Obtención del disolvente MAC 141©	29
Fotografía 3.3	Obtención de la solución QUIMAC en equipo Millipore	31
Fotografía 3.4	Esponja de quitina obtenida después de humidificar la solución QUIMAC	31
Fotografía 3.5	Soluciones plastificantes empleadas a diferentes concentraciones	31
Fotografía 3.6	Aplicación de plastificante en las muestras de esponjas de quitina	32

ABREVIATURAS

Å	Angstrom
ANIPAC	Asociación Nacional de Industrias del Plástico
ASTM	American Society for Testing and Materials (por sus siglas en inglés)
C₆H₁₄O₆	Fórmula química del sorbitol
CC	Cefalotórax de camarón
CFC	Clorofluorocarburos
Compostaje	Elaboración de compost. Compost, según la 22ª edición del Diccionario de la lengua española es el humus obtenido artificialmente por descomposición bioquímica en caliente de residuos orgánicos. Las palabras <i>composta</i> y <i>compostabilidad</i> no existen en el diccionario
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca
CPD	Cefalotórax parcialmente desproteínizado
E	Módulo de elasticidad o de Young
g	Gramo
h	Hora
HCl	Ácido clorhídrico
IMPI	Instituto Mexicano del Plástico Industrial
kg	Kilogramo
KOH	Hidróxido de potasio
L_f	Longitud final
L_i	Longitud inicial
M	Concentración molar
MAC	Solvente formado por metanol-agua-cloruro de calcio
MAC-141	Solvente formado por metanol-agua-cloruro de calcio en proporciones molares 1:4:1
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
NaCl	Cloruro de sodio
p/p	Concentración masa:masa (antiguamente peso-peso ¹)
pH	Potencial de hidrógeno
Probeta	Muestra de cualquier sustancia o material para probar su elasticidad, resistencia, etc.
PS	Poliestireno (por sus siglas en inglés)

¹ El **peso**, en física, es la medida de la fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa de un cuerpo. Normalmente, se considera respecto de la fuerza de gravedad terrestre. El peso depende de la intensidad del campo gravitatorio, de la posición relativa de los cuerpos y de la masa de los mismos. La **masa** es una propiedad característica de los cuerpos: la cantidad de materia, y no depende de la intensidad del campo gravitatorio, ni de su posición en el espacio. Por ejemplo, una persona de 60 kg de **masa**, pesa 60 **kg-fuerza** en la superficie de la Tierra; pero, la misma persona, en la superficie de la Luna pesaría sólo unos 10 kg-fuerza; sin embargo, su masa seguirá siendo de 60 kg. Las unidades de **peso** y **masa** tienen una larga historia compartida, en parte porque su diferencia no fue bien entendida cuando dichas unidades comenzaron a utilizarse. Cotidianamente, el término "peso" se utiliza a menudo **erróneamente** como sinónimo de masa. La unidad de masa del SI es el kilogramo, kg

QUIMAC	Quitina en disolvente Metanol-Agua-Cloruro de calcio
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SPQ	Siglas para esponja de quitina
SPQ-G10%	Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 10%
SPQ-G15%	Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 15%
SPQ-G5%	Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 5%
SPQ-S40%	Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 40%
SPQ-S50%	Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 50%
SPQ-S60%	Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 60%

Caracteres griegos

μm Micrómetro

Nota:

Esta tesis usa el punto decimal, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida (DOF, 2009)

RESUMEN

La Ingeniería y específicamente el área de materiales han tenido un gran desarrollo en los últimos años. El diseño de nuevos materiales y la capacidad de modificar las propiedades de algunos ya existentes han generado que la selección de los mismos, en cualquier proyecto, sea una de las principales consideraciones. Otra consideración importante es el costo ambiental ya que en este sentido uno de los materiales más utilizados en los envases de la llamada "comida rápida" es el poliestireno espumado, el cual resulta dañino en la etapa de producción, uso y desecho, lo que genera diversos efectos negativos al entorno que se maximizan por la rapidez con la que son desechados este tipo de envases. Los polímeros de fuentes renovables (biopolímeros) han atraído la atención principalmente por dos razones: la primera de ellas es por la preocupación en el ambiente y la segunda por los niveles de disponibilidad de petróleo de bajo costo. Dentro de estos biopolímeros destaca la quitina por tener el segundo lugar en abundancia en el planeta y por su velocidad de generación, que supera la de la celulosa (primer biopolímero en abundancia). En México, la quitina no ha sido debidamente aprovechada a pesar de que se cuenta con un potencial rico en recursos proveedores de quitina como es el cefalotórax y el exoesqueleto del camarón y otros crustáceos, conocidos comercialmente como "cabeza de camarón" y que constituye el objeto de este estudio. Este biopolímero es desechado en granjas acuícolas, tiraderos municipales y/o mercados y termina como un problema de contaminación alrededor de dichos lugares. Por ello, es que se tomó como una propuesta la explotación de la quitina para emplearla en la fabricación de envases para comida rápida. Se han desarrollado diversos estudios para extraerla y conocer sus propiedades mecánicas. Continuando con esta línea de investigación se implementaron los criterios y procedimientos adecuados para la extracción y elaboración de las esponjas de quitina, a partir de la cabeza de camarón. Este proceso se aplicó para obtener esponjas de quitina que se plastificaron con diferentes concentraciones de gretina (5,10,15%) y sorbitol (40,50,60%) teniendo dos controles, uno de poliestireno espumado y otro de poliestireno sin espumar. Las muestras se llevaron al Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM en donde se realizaron los ensayos de tensión para obtener la tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, módulo de elasticidad o de Young, % de deformación, tenacidad y límite elástico. Tomando como referencia las normas ASTM-D882-02 y ASTM-D-638-03. Como resultado de las pruebas mecánicas, puede concluirse que las esponjas tratadas con soluciones de gretina no lograron mejorar la mayoría de las propiedades estudiadas. Las que fueron tratadas con sorbitol al 50 y 60% sí lograron obtener mejoras con respecto a las esponjas sin plastificante y a las muestras controles realizadas con poliestireno espumado y sin espumar.

Capítulo I

Problemática

*“un envase debe de ahorrar
más de lo que cuesta”*

Dr. Rubén Rausing, fundador de Tetra pack

1.1 INTRODUCCIÓN

Los hábitos actuales de los miembros de la sociedad moderna llevan a un creciente desperdicio de recursos materiales y energéticos, principalmente en lo que se refiere a los envases de vidrio, aluminio, papel y plástico. Un ejemplo de esto es la transportación y consumo de alimentos en envases “desechables”. Esto ocurre especialmente en las sociedades de un mayor poder adquisitivo.

Diversos materiales se han empleado en la industria del envase; sin embargo, en los últimos tiempos los polímeros sintéticos (plásticos) han tenido un auge importante debido a que reúnen ciertas características que les confieren ventajas sobre otros materiales. Los plásticos pueden ser tan resistentes como el metal o el vidrio sin ser tan pesados o frágiles como este último (Hernández-Ávila, 2008). Esto representa diversas implicaciones ya que hasta el momento hay evidencia suficiente para indicar que los diferentes envases elaborados a partir de plástico no han tenido un desarrollo sustentable. Lo que ocurre es que el ciclo no se cierra porque los materiales realmente no se reintegran a la naturaleza o lo hacen con demasiada lentitud, provocando una acumulación de residuos que afecta el entorno, favorecido en muchos casos, por el bajo costo económico que representa adquirir dichos productos (Báez-García, 2003; Rodríguez-T., 2007).

Los materiales poliméricos de fuentes renovables ofrecen una respuesta para generar un desarrollo sustentable de la tecnología, atractivo, ecológico y económico. Las innovaciones en el desarrollo de los biopolímeros, la reducción del dióxido de carbono liberado, la preservación de los materiales basados en el petróleo, la degradabilidad biológica completa, la reducción en el volumen de la basura y la “compostabilidad”, así como también el incremento en el manejo de los recursos agrícolas para la producción de los nuevos materiales “verdes”, son algunas de las razones por las que se incrementa el interés público (Hernández-Ávila, 2008).

El desafío de reemplazar los plásticos convencionales con materiales biodegradables es diseñar materiales que exhiban una estabilidad tanto estructural como funcional, durante su almacenamiento y uso. Además, al término de su “vida” útil deben ser susceptibles a la degradación microbiana y ambiental, esto es, cuando sean desechados, sin causar algún cambio significativo en el ambiente (Haugaard et al., 2000).

En varios países ya se han realizado estudios sobre la obtención de la quitina y quitosana a partir del cefalotórax y exoesqueleto del camarón, lo que al paso del tiempo ha generado interesantes avances para la aplicación de estos compuestos en múltiples áreas de desarrollo. En México, un área donde se ha detectado una posibilidad de uso para la quitina es en la elaboración de envases que actualmente se fabrican con poliestireno como vasos y bandejas para alimentos (Flores, 2008).

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

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

Cada año se desperdician cantidades enormes de quitina como desechos de la industria procesadora de alimentos marinos. 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 por ciento (130 mil toneladas) provienen de la acuicultura y el 34% de ellas, corresponden a la captura en altamar y bahías (CONAPESCA, 2009). De este total, cerca del 30% es convertido en un subproducto fuertemente aprovechable compuesto por cefalotórax de camarón (Cañipa et al., 1994). Del cefalotórax obtenido, sólo una fracción es transformada en harina, para después elaborar fertilizantes o alimentos para ganado (SAGARPA, 2009) pero la mayor parte de ella no es reutilizada.

La quitina es un polímero natural constituido esencialmente de azúcares Poli (N-Acetil-D-glucosamina). Es el segundo biopolímero en abundancia después de la celulosa con la que comparte una estructura similar. Por ser la defensa de los organismos ante el ambiente, posee una alta insolubilidad ya que no se disuelve ni en agua ni en la mayoría de los disolventes orgánicos y esto hace que se prefiera convertirla en quitosana², que es su derivado desacetilado y que tiene múltiples aplicaciones, desde el tratamiento de aguas, la industria cosmética, la farmacéutica, la alimentaria, la medicina y la agricultura (Sarabia-Bañuelos, 2011). La quitina se encuentra presente en animales, particularmente en artrópodos como crustáceos e insectos donde es el principal constituyente del exoesqueleto, en moluscos y también en algunos hongos. El exoesqueleto tiene como componentes principales, además de la quitina, carbonato de calcio, proteínas, pigmentos y grasas en pequeñas cantidades (Flores, 2004, 2008).

Las características que hacen a la quitina y a la quitosana productos con usos ilimitados son principalmente: 1) se obtiene de fuentes naturales renovables, 2) son biodegradables y no contaminan el ambiente, 3) son biocompatibles con tejidos animales y vegetales, 4) pueden ser utilizados como geles, fibras, película y gránulos (Brine et al., 1992).

² Quitosana, también conocida como *quitosano*, *quitosán*, *quitosan*, es una goma derivada sintéticamente de la quitina por desacetilación. De acuerdo con la nomenclatura química, los nombres de las gomas tienen como prefijo el compuesto del que se originan y como sufijo la terminación ana. Ejemplos de esta forma de nombrar a estos compuestos son la dextrana, la xantana, la pululana, etc. Siendo una goma derivada de la quitina, debiera haberse llamado quitana, pero por motivos históricos se le ha llamado quitosana, palabra que será usada en este documento.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los envases han significado mejoras en la calidad de vida, al permitir a la sociedad disfrutar de productos de una forma rápida y práctica. Este tipo de envases (generalmente platos, vasos o charolas) son utilizados para la venta de productos de consumo inmediato, como bebidas, alimentos preparados, carnes y verduras frescas o congeladas) (Hernández-Ávila, 2008). Sin embargo, un inconveniente vinculado con ellos es el enorme problema ambiental que genera la acumulación de los desechos de estos materiales que, en general, son poco biodegradables. Algo que se vuelve aún más nocivo, no sólo para el ambiente sino también para los organismos vivos, es cuando estos artículos están hechos de poliestireno expandido, EPS (*Expanded Polystyrene*, por sus siglas en inglés) comúnmente conocido en México como *unicel*. De acuerdo con el Fondo Mundial para la Naturaleza, el poliestireno expandido no se integra adecuadamente a la naturaleza y puede hallarse intacto mil años después de haber sido utilizado. Los recipientes de poliestireno espumado son desechados habiéndose utilizado una sola vez dando lugar a toneladas de basura que tardarán siglos en degradarse, es decir, en reintegrarse a la Tierra. La basura de poliestireno espumado representa un grave problema por el volumen que ocupa en los tiraderos de todo el mundo, volumen que tiende a aumentar en especial si se piensa que, de acuerdo con la Asociación Nacional del Plástico Industrial (ANIPAC, 2010) tan sólo en México se producen anualmente 350,000 toneladas de este material, la mayoría para vasos y platos. El problema radica en que este material, aparentemente inofensivo, es una espuma hecha de poliestireno expandido que ha sido muy empleada en los últimos años pero que resulta nociva, en todas sus etapas de existencia, es decir, durante su producción, uso y desecho, como a continuación se describe (Bárcenas-Ochoa, 2010).

1.3.1 Producción

Para fabricar envases de poliestireno se requiere el gasto de energías no renovables y el uso de agentes químicos (frecuentemente se usaban los clorofluorocarburos, CFC, o los sustitutos aprobados después del Protocolo de Montreal) para expandirlo en forma de espuma, que elevan las emisiones de gases que afectan la capa de ozono, disminuyendo esta indispensable protección planetaria. Cabe mencionar que los procesos de manufactura de productos tales como planchas para construcción, vasos térmicos para bebidas y embalajes para electrodomésticos, utilizan pentano o butano y no CFC que, de cualquier forma, son hidrocarburos que contribuyen a la contaminación atmosférica de las ciudades (conocida coloquialmente como la provocada por los compuestos orgánicos volátiles, COV). Así entonces, las espumas que no utilizan CFC cambian meramente una forma de problema ambiental por otro (Campaña de conciencia-ambiental, 2011).

1.3.2 Usos

Generalmente los recipientes de poliestireno se utilizan para contener y/o almacenar alimentos. El problema es que cuando el poliestireno es sometido al calor en combinación con los alimentos, como en los hornos de microondas, pueden generarse compuestos

químicos como las dioxinas que serán introducidos después al organismo. Las dioxinas son sustancias cancerígenas, mutagénicas, persistentes, bioacumulables y volátiles y se transmiten mediante la cadena alimenticia en la que el ser humano se encuentra al final, por lo que recibe concentraciones más altas. Las consecuencias en la salud humana, animal y vegetal son muy graves: En el humano está la aparición de algunos tipos de cáncer: piel, cataratas y cambios en el sistema inmunológico (Campaña de conciencia-ambiental, 2011; Manahan, 2007).

1.3.3 Desecho

La espuma de poliestireno no es biodegradable, logrando solamente deshacerse en pequeñas bolitas que Incluso tras muchos años pueden estar sin descomponerse en algún lugar de la superficie terrestre. A pesar de su alto poder calorífico, ya que 1 kg de espuma del tipo fácilmente inflamable (generalmente embalajes) equivale en su valor energético a aproximadamente 1.2 litros de combustible, el quemar poliestireno representa un problema debido a que se libera una vez más estireno y algunos hidrocarburos tóxicos, generándose también cloruro de hidrógeno, clorofluorocarbonos (CFC) y dioxinas.

La espuma de poliestireno es mortal para la vida marina, flota en la superficie del océano, se descompone en bolitas que parecen comida y los animales las ingieren. Las tortugas de mar por ejemplo llegan a perder la capacidad de sumergirse y mueren de hambre. Debido a su propia estructura, todo poliestireno expandido contiene, indistintamente a como haya sido fabricado, grandes cantidades de aire que ocupa la mayoría de espacio; Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (poliestireno). Esto quiere decir que al desechar artículos de poliestireno se acelera la saturación de los vertederos de basura (Campaña de conciencia-ambiental, 2011).

1.4 RECICLABILIDAD

Respecto al exceso de residuos de envases, las políticas ambientales buscan: la reducción del volumen de residuos, el reciclaje y la reutilización (política conocida como de las 3R por las letras iniciales), incineración con recuperación energética y optimización del vertido final (Walter-Pardavé, 2004).

El símbolo de reciclaje correspondiente al poliestireno es el triángulo con el número 6 y las siglas PS (Figura 1.1). El principal método para reciclar, que se ha usado desde hace décadas, consiste en despedazar mecánicamente el material para posteriormente mezclarlo con material nuevo y así formar bloques, logrando contener una cantidad importante de material regenerado sin alterar el aspecto ni las cualidades técnicas del producto final (hasta un 50% de material reciclado). Los inconvenientes que se presentan en este caso son que, además, de que se mantiene la generación de material, este tipo de reciclaje solamente suele darse de forma interna en el lugar donde se fabrica la espuma para aprovechar los productos de descarte. Esto no ocurre con el material que se desecha

en los tiraderos o vertederos por la dificultad que presenta su recolección. Se estima que para juntar 8 kilogramos de *unicel* se tendrían que recolectar 3 mil vasos para café (ANIPAC, 2010).

La política ambiental de otros países nos indica que la reutilización y el reciclado de los envases no es la solución. Estados Unidos, el país más industrializado del mundo recicla el 10% de sus residuos, incinera otro 10% y el resto corresponde a acumulación de estos. Japón, el segundo país más industrializado práctica la incineración del 70% de sus residuos como la principal forma de eliminación. Como consecuencia, a través del tiempo, las organizaciones civiles y ambientalistas han comenzado a destacar el problema alertando sobre los inconvenientes que representa el uso de productos elaborados con poliestireno espumado. Lo que a su vez ha influido en las empresas fabricantes, de reciclaje, en institutos y centros de investigación para la búsqueda y desarrollo de productos ambientalmente seguros y sin riesgos para el consumidor (Walter-Pardavé, 2004).



Figura 1.1: Símbolo de clasificación para el reciclado del Poliestireno (IMPI, 2000)

Por todo lo anteriormente expuesto es importante que se diseñen envases elaborados con materiales que cumplan favorablemente con las siguientes características principales:

- Provenir de fuentes renovables
- Ser biodegradables
- Procesarse de forma ecológica
- No presentar toxicidad
- Presentar una viabilidad económica

1.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL USO DE BIOPOLÍMEROS

Dentro de la literatura científica se encuentran diferentes factores que motivan la aplicación de biopolímeros en diversas áreas. Los que a continuación se citan son algunos de los más importantes.

a) Disminución del petróleo

Si bien la crisis energética del siglo pasado fue una razón que presionó para la investigación en biopolímeros, la disminución del precio del petróleo ocasionó también una desaceleración en su desarrollo. En los últimos años esta tendencia se ha revertido, debido a que las reservas de petróleo se están agotando de manera alarmante.

Las estimaciones varían mucho, ya que la información que suministran los países que tienen reservas de petróleo no siempre es confiable, pero lo más probable es que comiencen a agotarse en las próximas décadas. Ante esta perspectiva, las investigaciones que involucran a los plásticos obtenidos de otras fuentes han tomado un nuevo impulso (De Almeida et al., 2004).

b) Daño ecológico

Un segundo factor que influye en el empleo de los biopolímeros es el daño ecológico causado por los polímeros convencionales. La persistencia de los plásticos en el ambiente, la corta vida de los rellenos sanitarios, las emisiones concernientes a la incineración y los peligros por la ingesta de estos materiales han impulsado los esfuerzos para desarrollar plásticos biodegradables. La disminución de los recursos del petróleo acompañada del incremento de regulaciones ambientales está actuando sinérgicamente para proveer el ímpetu para nuevos materiales y productos que sean compatibles con el ambiente independientemente de los combustibles fósiles (Mohanty et al., 2005).

c) Desarrollo sustentable

Si bien los dos factores antes mencionados son relevantes, es importante reconocer que el primero ha sido crucial pues afecta directamente los precios de producción y, por consiguiente, las utilidades de los productores. La combinación de estos factores ocasiona la aparición de un tercero, el desarrollo sustentable. Hay numerosas definiciones de “desarrollo sustentable” pero la más frecuentemente citada es la que hizo la Comisión de Brundtland en 1987. Ésta define al desarrollo sustentable como: **“Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”**. Basados en esto, actualmente el desarrollo sustentable debe incluir al menos: el ambiente, la economía y las dimensiones sociales (Figura 1.2) (Patel y Narayan, 2005).

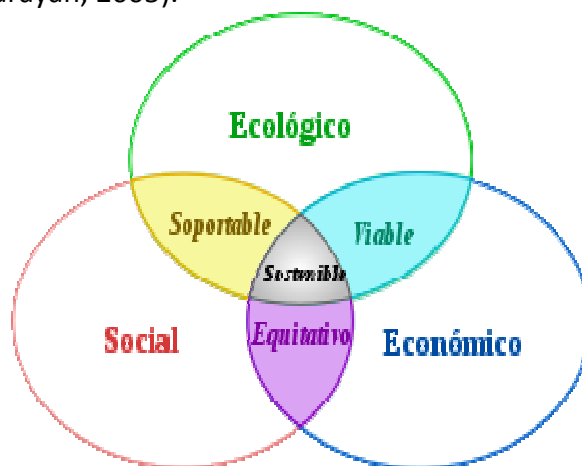


Figura 1.2: Esquema de los tres pilares del desarrollo sustentable (sostenible) fuente: Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Comisión Brundtland (ONU, 1987)

1.6 BIOENVASES

El bioenvase es 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).

1.6.1 Envase verde

El envase verde se ha hecho cada vez más presente en productos utilizados en la vida cotidiana, ya que son elaborados con materiales (naturales o sintéticos) reutilizables o reciclables, que se integran a la naturaleza sin causarle daño y que además consumen un mínimo de energía y materia prima en su elaboración, y/o que generan un mínimo de contaminantes durante su fabricación, uso y disposición (Hernández-Ávila, 2008).

1.6.2 Reemplazo de los materiales de envase

Uno de los desafíos que enfrenta la industria del envase de alimentos en producir envases basados en fuentes renovables es combinar la durabilidad del envase con la vida de anaquel del producto. Los materiales basados en fuentes renovables deben mantener estables sus propiedades mecánicas y/o de barrera y funcionar adecuadamente durante el almacenamiento de los alimentos. Idealmente, los materiales deben biodegradarse eficientemente cuando son desechados. De esta manera, las condiciones del ambiente que propician la biodegradación deben ser evitadas durante el almacenamiento de los productos alimenticios mientras que las condiciones para la biodegradación deben de existir después del momento de desecho. Esta situación presenta un interesante desafío para el diseño y uso de materiales de envase de origen biológico a partir de varios factores que afectan la biodegradación; la actividad del agua, la presencia de microorganismos, temperatura y la composición del biomaterial, entre otros (Tabla 1.1). También se ve afectada la tasa de deterioro del alimento envasado. En el caso de las películas comestibles, para funcionar como envases deben prever la barrera a la humedad o a los gases, mientras que el alimento se encuentra almacenado.

La solubilidad en medio acuoso de algunos biopolímeros es una propiedad que permite que la degradación sea más rápida; sin embargo, la sensibilidad a la humedad limita las aplicaciones. Otro inconveniente que presentan varios polímeros naturales es la sensibilidad a las altas temperaturas ya que esta característica restringe su procesamiento. Estos dos factores representan un área de oportunidades para la investigación de materiales de envase con biopolímeros dado que la biodegradación, de dichos compuestos, puede permitir un control de los residuos a partir de un equilibrio con el ambiente.

Tabla 1.1: Mecanismo de degradación de los biopolímeros (Maldonado, 2005)

Biodegradables	Se degradan por acción de microorganismos como son: bacterias, hongos y algas, entre otros
Fotodegradables	Se degradan por la acción de los rayos solares en el polímero
Biodeteriorables	Se degradan por la acción de los macroorganismos como insectos, gusanos, etc.
Autoxidantes	Se degradan por la reacción química con el oxígeno
Hidrolizables	Se degradan por la acción del agua sobre el plástico, resultando una disminución del peso molecular y pérdida de propiedades físicas
Solubles	Se degradan por la disolución de los polímeros, que ocurre cuando se incluyen enlaces solubles dentro de la estructura del polímero
Biodigeribles	Se degradan mediante el proceso de ingestión – digestión – desecho

1.7 ESTUDIOS RELACIONADOS CON BIOPOLÍMEROS Y BIOENVASES PARA ALIMENTOS

Este apartado proporciona una panorámica de las investigaciones recientes que proponen aplicaciones futuras con temas relacionados a los biopolímeros y al bioenvase de alimentos: Identifica los materiales sobre los que se desarrolla investigación (proteínas, polisacáridos, lípidos) (Tabla 1.2).

Tabla 1.2: Fuentes alternativas de biopolímeros (Hernández-Ávila, 2008)

Material o tema	Descripción	Autor
Carragenina	Película comestible, que tiene buenas propiedades mecánicas, estabiliza emulsiones, reduce transferencia de oxígeno; al adicionarle lípidos disminuye la transferencia de agua y con esto pueden ser consideradas para encapsular sustancias activas	Hambleton et al. (2008)
Gelatina de cuero de cerdo	Son empleadas principalmente en ingeniería de alimentos, envase y recuperación de fármacos, al adicionar glicerol como plastificante se afectan las propiedades de la película: flexibilidad, humedad y las interacciones entre las cadenas de las macromoléculas	Bergo y Sobral (2007)
Alginato o proteína de soya como recubrimiento en cartón	Cartones recubiertos con biopolímeros (alginato o proteína de soya): Se mejora por un lado y se perjudica por otro diferentes propiedades de los mismos dependiendo del biopolímero aplicado	Rhim et al. (2006)
Gelatina/Plastificante	Se somete una película formada con gelatina y un plastificante a diferentes humedades relativas, encontrándose una mayor sensibilidad por parte del polímero	Kim et al. (2007)
Almidón/fibras de celulosa, quitosana, gelatina	Las películas hechas de almidón mejoran sus propiedades al hacer diferentes mezclas con otros biopolímeros (fibras de celulosa, gelatina o quitosana), se pueden emplear en la industria del envase de alimentos, recubrimientos agrícolas y la industria médica	Ban et al. (2006)

Continuación. Tabla 1.2: Fuentes alternativas de biopolímeros (Hernández-Ávila, 2008)

Material o tema	Descripción	Autor
Kafirina, prolamina de sorgo	Desarrollo de una película a base de kafirina (prolamina de sorgo) adicionándole ácido tánico y condensado de taninos. Los resultados presentan cambios en la resistencia a la tensión y el módulo de Young	Emmambux et al. (2004)
Queratina obtenida de plumas de aves	Desarrollo de una película de queratina (obtenida de plumas de aves) y glicerol como plastificante. Estas películas presentaron propiedades mecánicas similares a las de los polímeros sintéticos comúnmente usados. En este estudio se menciona que las películas de queratina tienen aplicaciones potenciales como material amigable con el ambiente al ser empleados en envasado en alimentos o películas de recubrimiento	Barone et al. (2005)
Proteína de cacahuete	Desarrollo de películas de proteína de cacahuete, mejorándole sus propiedades por medio de tratamientos físicos (desnaturalización de la proteína por medio de diferentes temperaturas, irradiación UV y ultrasonido) y tratamientos químicos (adición de aldehídos y de anhídridos)	Liu et al. (2004)
Quitosana como recubrimiento en cartón	Se utiliza la quitosana como recubrimiento de cartones para mejorar las propiedades del material (brillo, barrera al oxígeno, propiedades mecánicas)	Vartiainen et al. (2004)

1.8 LA QUITINA COMO ALTERNATIVA AL POLIESTIRENO

El consumo de poliestireno como material de envase se hizo muy popular debido básicamente a que es un buen material aislante, ligero y barato comparado con los envases que están fabricados con materiales *compostables* existentes en el mercado. Por ejemplo, con alrededor de \$10.00 pesos mexicanos es posible comprar un paquete con 20 platos fabricados con poliestireno espumado (un promedio de 50 centavos por plato) mientras que el paquete con 36 piezas de platos hechos con materiales biodegradables cuesta en promedio \$58.00 pesos (\$1.61 por plato). Para el caso de los vasos desechables, con \$10.50 pesos se puede adquirir un paquete con 20 vasos de poliestireno sin espumar (un promedio de 52 centavos por vaso). Cabe señalar que no se encontraron vasos elaborados con materiales biodegradables (precios promedio tomados de 2 tiendas de autoservicio el 24 de febrero del 2012). El precio de los envases de poliestireno es muy atractivo para los negocios de comida rápida que otorgan valor agregado a sus productos al ofrecer a sus clientes la posibilidad de transportar sus alimentos. Sin embargo, no se toman en cuenta todos los costos asociados a este producto como son los ecológicos.

Por ello, el tema central de esta investigación fue el de aprovechar el cefalotórax y exoesqueleto de camarón que se desecha en las granjas acuícolas o de los camarones

capturados y transportados a las centrales de abasto para que, a partir de estos residuos, se obtenga quitina para formar esponjas, las que combinadas con materiales biodegradables que mejoren sus propiedades mecánicas, puedan ser un buen sustituto. Esta combinación de materiales permitirá su utilización en la fabricación de envases desechables para comida. Para ello, se estudiaron las propiedades mecánicas de la esponja de quitina (SPQ) y se determinó si su perfil de tensión era similar al de una espuma de poliestireno (PS) comercial. De esta forma, la SPQ (esponja de quitina) podría llegar a reemplazar a la espuma de PS en la fabricación de recipientes desechables para comida con la ventaja de ser biodegradable a diferencia del PS (Flores et al., 2006; Flores-Ortega et al., 2004).

Por otra parte, al obtener el cefalotórax de camarón y extraer la quitina se consiguen obtener otros subproductos como son las proteínas y los pigmentos, los cuales podrían ser utilizados como materia prima de otros procesos, logrando con esto una posible reducción del costo de la extracción (García-Gómez et al., 2004; Gutiérrez-Cabello et al., 2009). Al utilizar la quitina, en forma de espuma, con algún aditivo natural se pueden conferir mejoras en las propiedades mecánicas. Esto puede permitir su utilización en la fabricación de vasos y bandejas biodegradables para alimentos. Un aditivo que se sugiere probar es el sorbitol dado que es de origen natural y presenta propiedades prometedoras como plastificante (Arias y Mendoza, 2010; Bárcenas-Ochoa, 2010).

1.8.1 Ensayos previos para elaborar esponjas de quitina

Se han realizado ensayos previos para elaborar esponjas de quitina con base en una tecnología patentada por la UNAM (Flores-Ortega et al., 2004). Entre las recomendaciones citadas por este autor destacan la adición de agentes plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas de las esponjas de quitina con objeto de que puedan sustituir más exitosamente al poliestireno espumado (Arias y Mendoza, 2010).

1.8.2 Ensayos previos sobre la biodegradación de las películas y esponjas de quitina

Otros ensayos previos son los que se han realizado para estudiar la estabilidad de esponjas y películas de quitina elaboradas con la tecnología patentada por la UNAM (Flores-Ortega et al., 2004). En ellos se observó que estos productos son estables a condiciones ambientales pero, cuando se introducen en composta, son degradados en aproximadamente dos semanas (Barrera-Rodríguez et al., 2011; Flores-Ortega et al., 2006).

1.9 PROPUESTAS

Como parte de la línea de investigación se plantean los objetivos a trabajar así como los beneficios y posibles resultados.

1.9.1 Objetivo general

Experimentar la aplicación de aditivos naturales que modifiquen propiedades mecánicas de la esponja de quitina con el fin de que sean similares a las del poliestireno utilizado en envases de comida rápida.

1.9.2 Objetivo particular

Determinar las propiedades mecánicas de tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, módulo de Young, deformación en la carga última, tenacidad y límite elástico mediante ensayos de tensión en esponjas de quitina plastificadas con soluciones de sorbitol y de grenetina a diferentes concentraciones para compararlas con las propiedades mecánicas de poliestireno procedente de envases de comida rápida.

1.9.3 Beneficios

- 1.-Aprovechar un subproducto de la comercialización del camarón
- 2.-Contribuir al desarrollo de una propuesta para aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios mediante la disminución de residuos de envases de poliestireno espumado.

1.9.4 Hipótesis

La esponja de quitina obtenida de cefalotórax de camarón se puede plastificar, con grenetina o con sorbitol, favoreciendo la similitud de las propiedades mecánicas de la esponja con las del poliestireno empleado en envases de comida rápida.

Capítulo II

Fundamentación

“Vivimos en una sociedad profundamente dependiente de la ciencia y la tecnología y en la que nadie sabe nada de estos temas. Ello constituye una fórmula segura para el desastre”

Carl Sagan

2.1 GENERALIDADES DE LA QUITINA

La quitina fue aislada por primera vez en 1811 por Braconnot, profesor de historia natural y director del jardín botánico de la Academia de Ciencias en Nancy, Francia. La obtuvo de algunos hongos superiores como una fracción resistente al álcali y la llamó fungina, que fue considerada por mucho tiempo como una forma bastante pura de la celulosa, pues no se descubrió en ella la presencia de nitrógeno (Arias y Mendoza, 2010). En 1823 Odir aisló un residuo insoluble a soluciones de KOH del élitro de un escarabajo y le dio el nombre de quitina, del griego chiton, túnica o cobertura (Shahidi et al., 1999). Odir identificó quitina en el caparazón desmineralizado del cangrejo y sugirió que es el material base del exoesqueleto de todos los insectos y posiblemente de los arácnidos (Roberts, 1992). Actualmente, está demostrado que la acetilglucosamina es la unidad estructural de la quitina, al igual que la glucosa es la unidad estructural de la celulosa. Una gran cantidad de investigaciones fundamentales sobre la quitina se realizaron en las décadas siguientes (la quitosana fue descubierta por Rouget en 1859), pero mucha de la información disponible hasta hoy se ha obtenido a partir de 1950. El libro de Richards en 1951 aportó información sobre el intergumen de los artrópodos y permitió la investigación zoológica de la quitina. La revisión de Tracey en 1957 sobre una crónica de la quitina dio inicio a serios intentos para analizar cuantitativamente dicho polímero. En 1972 Pariser y Boch publicaron una serie de obras selectas sobre la quitina y sus derivados (Arias y Mendoza, 2010).

Después de la década de los 70 del Siglo XX, a lo largo de las investigaciones de los recursos naturales renovables, surge el interés científico por la quitina y la quitosana. Parte de este interés nace de la necesidad de procesar la vasta cantidad de residuos producidos por la industria de alimentos marinos. Aunado a esto, se identificaron propiedades únicas en la quitina y la quitosana tales como biocompatibilidad, biodegradabilidad y nula toxicidad y, en el caso de la quitosana, la habilidad para “quelar” o atrapar metales pesados. Su valor en los procesos de separación depende de esta propiedad.

El desarrollo de las aplicaciones de la quitina y la quitosana ha progresado sorprendentemente. Durante las últimas décadas se han registrado cientos de patentes sobre la extracción, derivados y usos de estos biopolímeros.

2.2 ESTRUCTURA DE LA QUITINA Y QUITOSANA

La quitina es un polímero ramificado de N-acetil-D-glucosamina (Figura 2.1). Se puede considerar un derivado de la celulosa (Figura 2.2) en el cual los grupos hidroxilos del segundo carbono de cada glucosa han sido reemplazados por grupos acetamida ($-\text{NH}(\text{C}=\text{O})\text{CH}_3$). La quitosana es preparada por tratamiento de la quitina con una base fuerte para remover el grupo acetilo, dejando en la estructura una amina libre (Figura 2.3). Esta desacetilación comúnmente no es completa en preparaciones comerciales. Por lo regular,

la quitosana es producto de una desacetilación del 80%. La diferencia entre quitina y la quitosana es, de hecho, arbitraria ya que las formas completamente acetiladas o desacetiladas no existen en la naturaleza ni como productos finales de un proceso, por lo que en la práctica al polímero que presenta mayor acetilación se le denomina quitina y al más desacetilado quitosana (Hansen y Llanes, 1994; Sarabia-Bañuelos, 2011).

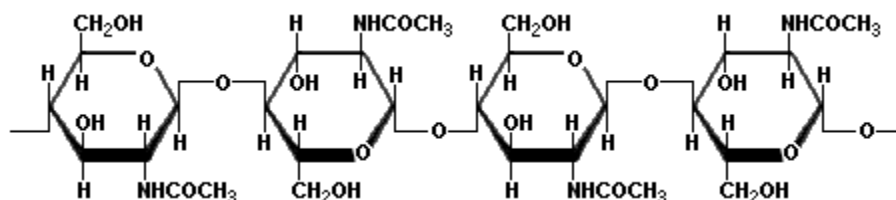


Figura 2.1: Estructura molecular de la quitina

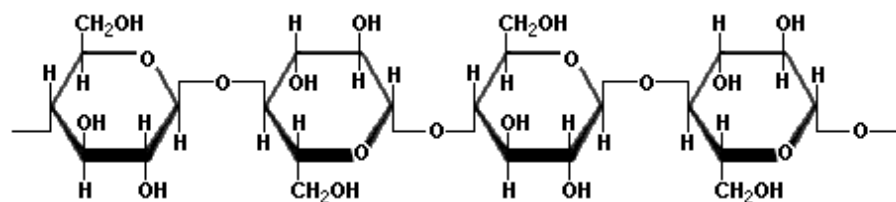


Figura 2.2: Estructura molecular de la celulosa

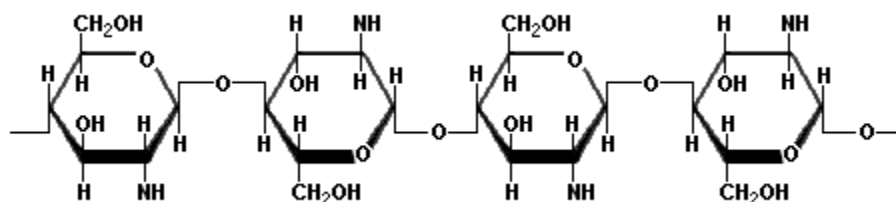


Figura 2.3: Estructura molecular de la quitosana

La quitina tiene una estructura cristalina altamente ordenada. Se han encontrado tres formas polimórficas, α -, β - y γ -quitina, las cuales difieren en el arreglo de las cadenas dentro de las regiones cristalinas (Figura 2.4). En la α -quitina las cadenas están anti-paralelas, en la β -quitina están paralelas y en la γ -quitina dos cadenas están hacia arriba por una hacia abajo. La forma que parece ser la más estable es la α -quitina, toda vez que la β - y γ -quitina pueden convertirse a la forma α por un tratamiento apropiado (Roberts, 1992).

La conformación de la α -quitina se considera una celda ortorrómbica, la estructura cristalina está dada en la Figura 2.5.



Figura 2.4: Polimorfismo de la quitina

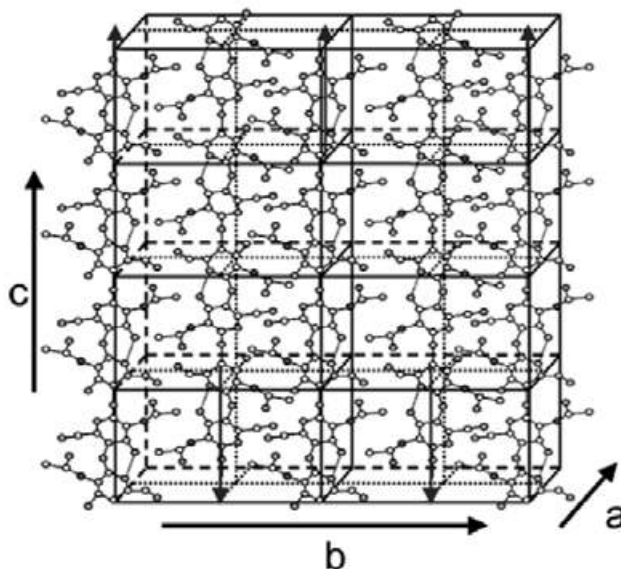


Figura 2.5: Estructura cristalina de la α -quitina con puentes de hidrógeno intra e intermoleculares. Simetría ortorrómbica ($a=4.74\text{\AA}$, $b=18.86\text{\AA}$, $c=10.31\text{\AA}$) (Blackwell, 1988; Raabe y col., 2007)

Todos los grupos hidroxilos están totalmente enlazados por puentes de hidrógeno. Tiene puentes de hidrógeno intermolecular a lo largo de ambos ejes a y b para prevenir el hinchamiento en agua (Roberts, 1992). Los puentes de hidrógeno son muy importantes desde el punto de vista técnico y químico pues son los que le confieren a la quitina las peculiares características físicas y químicas macroscópicas, como la alta insolubilidad en agua. Dependiendo del número de puentes de hidrógeno la quitina presentará regiones hidrofílicas o hidrofóbicas (Muzzarelli, 1977).

2.3 PROPIEDADES DE LA QUITINA

Las propiedades de la quitina incluyen: insolubilidad en medio acuoso, solubilidad en ácidos minerales fuertes, en soluciones de tiocianato de sodio y en otras soluciones de sales concentradas (Austin, 1977). La viscosidad de las soluciones obtenidas, conducta de polielectrolito, formación de polioxisales, habilidad para formar película y quelante de iones metálicos, características ópticas y estructurales son otras de sus propiedades importantes (Muzzarelli, 1977).

2.4 ASOCIACIONES DE LA QUITINA

La quitina se asocia de diferentes maneras en la matriz en la que esté presente, según la naturaleza. Se encuentra unida a proteínas en los exoesqueletos de insectos y crustáceos. Además de estos compuestos orgánicos la quitina viene acompañada por sales orgánicas.

2.4.1 Asociación quitina-sales

La dureza de los exoesqueletos de crustáceos se debe a las sales inorgánicas asociadas al polímero de la quitina. El contenido de estas sales es variable; depende de la consistencia de las especies que las contienen. El proceso de desmineralización emplea soluciones de ácidos diluidos, siendo el HCl el más frecuentemente usado (Agulló et al., 2004).

2.4.2 Asociación quitina-proteína

El complejo quitina-proteína conforma una matriz de protección. La proteína aislada de estas fuentes es de excelente calidad y alto valor económico (Agulló et al., 2004).

Evidencia experimental sugiere que la unidad repetitiva de la quitina (N-acetilglucosamina) interacciona con α -aminoácidos, especialmente tirosina, péptidos y proteína cuticular, que dan como resultados la formación de complejos estables, pero disociables por cambios de pH (Tharanathan, 2003). Esta interacción depende de la materia prima. Agulló y colaboradores (2004) publicaron una revisión en donde se reconocen e identifican dichas interacciones.

- En agua a pH 7 durante 48 h, se extraen las proteínas solubles no ligadas
- Con sulfato de sodio 0.17M, pH 7, durante 48 h, se extraen las proteínas unidas por enlaces débiles del tipo fuerzas de Van der Waals
- Con urea 7M a pH 7 durante 48 h, se eliminan las proteínas unidas por puentes de hidrógeno
- En hidróxido de sodio 0.01M, durante 5 h, se remueven las proteínas ligadas electrostáticamente
- En hidróxido de sodio 1M entre 50 y 60°C, durante 5 h, se logran separar las proteínas unidas por enlaces covalentes. Este grupo corresponde a las proteínas más fuertemente ligadas.

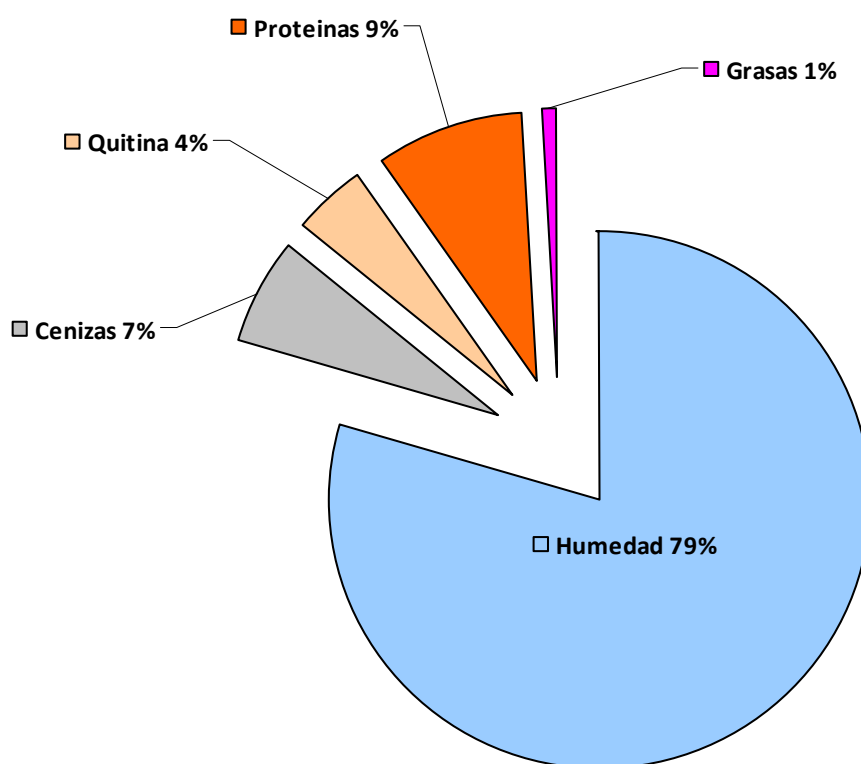
2.4.3 Asociación quitina-carotenoides

Los carotenoides son los pigmentos responsables de dar un característico color al salmón y a los exoesqueletos de los crustáceos, siendo las astaxantinas las más abundantes y significativas entre ellos (García-Gómez et al., 2004; Gutiérrez-Cabello et al., 2009). Se presentan generalmente en tres formas diferentes: libres, esterificadas con ácidos grasos

y asociadas con proteína. Esta última, representa un modelo de asociación entre el carotenoide y la proteína asociada a la quitina.

2.5 COMPOSICIÓN DEL CEFALOTÓRAX DE CAMARÓN

Del 30 al 40% del camarón son residuos (cabeza y tórax) de donde se puede obtener la quitina. De acuerdo con investigaciones previas sobre la caracterización del cefalotórax de camarón fresco (Flores, 2008), éste se compone principalmente de agua y proteínas, la quitina se encuentra presente en un 4%, siendo el resto, cenizas y en menor proporción grasas (Gráfica 2.1).



Gráfica 2.1: Caracterización de cefalotórax de camarón fresco (Flores, 2008)

Considerando que el camarón es una fuente de quitina que se renueva cada año, al terminar la veda de su captura o al emplear sus residuos provenientes de granjas camaronícolas, es el recurso que se utiliza en esta investigación para la elaboración de esponjas de quitina que incluirán plastificantes naturales. Después de la celulosa, la quitina es el segundo polímero 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 y comercializan la quitina (Figura 2.6) (SAGARPA, 2009).

2.6 ADITIVOS

Los aditivos son materiales incorporados a los productos durante su transformación con el objetivo de modificar sus propiedades, mejorar la presentación, aumentar su resistencia a medios externos y facilitar el procesamiento, lo que ha permitido ampliar la variedad de aplicaciones de un producto. Para seleccionar el tipo de aditivo adecuado y la cantidad a usar es necesario determinar las características y propiedades del producto que son requeridas tanto en el procesamiento como por el usuario final (IMPI, 2000).

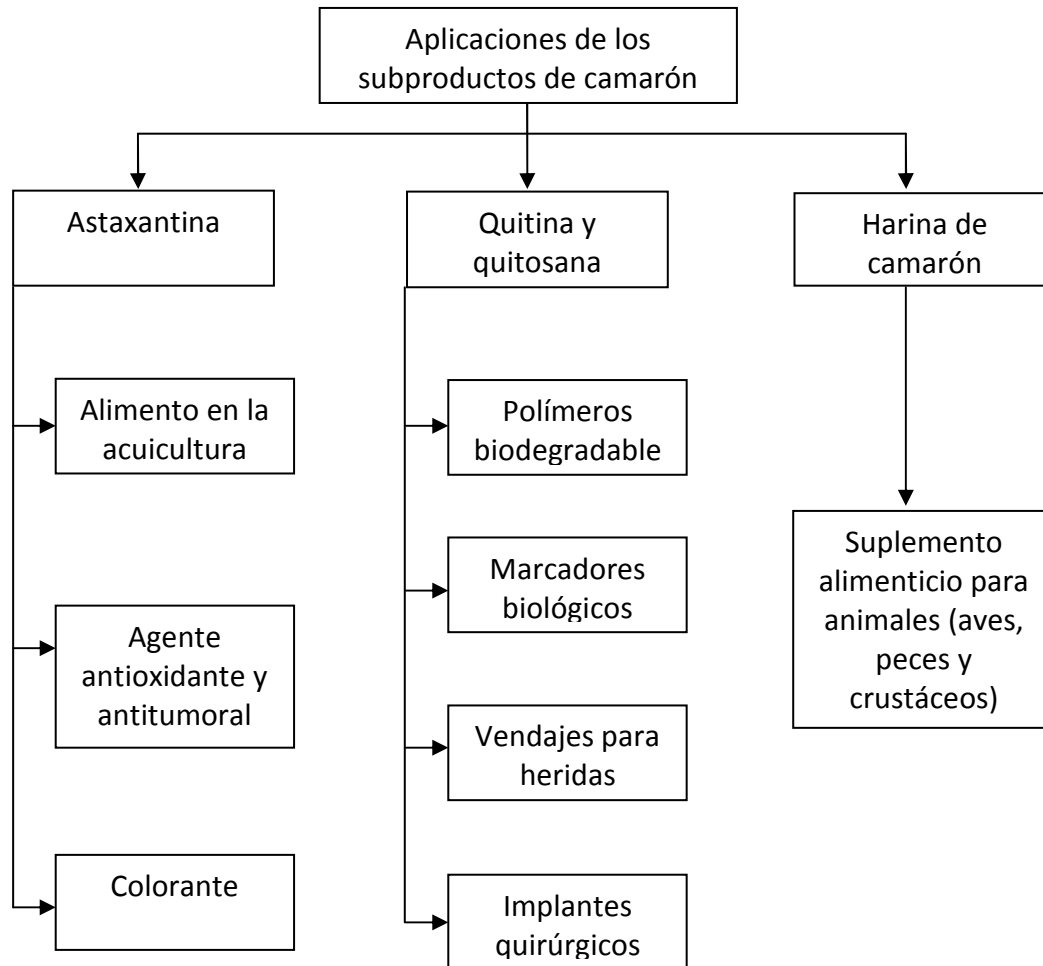


Figura 2.6: Usos de los subproductos de camarón (SAGARPA, 2009)

Los aditivos se comercializan en varias presentaciones como son líquidos, polvos y pastas entre otros. De acuerdo a la propiedad o característica de procesamiento que modifiquen, los aditivos se clasifican de la siguiente manera:

2.6.1 Aditivos de procesamiento

Su función principal es la de evitar que el material se degrade durante el tiempo que permanece en el equipo de transformación, cubriendo los siguientes aspectos:

- a) Eliminar la adherencia del material con las diferentes partes del equipo
- b) Mejorar el flujo, para aumentar la velocidad de producción
- c) Disminuir la degradación ante el efecto de la temperatura
- d) Reducir desperdicios y costos, aumentando la productividad

2.6.2 Aditivos funcionales

Sirven para modificar o incrementar las propiedades del producto, así como para protegerlos de factores externos como la luz solar, el fuego o los microorganismos (IMPI, 2000).

2.6.3 Aditivos multifuncionales

Se caracterizan porque cubren varias funciones en un producto, se pueden utilizar para incrementar propiedades, pero a su vez mejoran las cualidades de procesamiento, originando mayores beneficios en un solo paso.

2.7 PLASTIFICANTES

Los plastificantes son compuestos de baja volatilidad que pueden ser añadidos para impartir flexibilidad a una película polimérica (Kester y Fennema, 1986). Por tanto, la influencia que tendrá el aditivo en las propiedades de la película dependerá del grado de concentración, la estructura química, el grado de dispersión en la película y la interacción con los polímeros.

Los plastificantes se pueden dividir en dos grupos: plastificantes internos y externos (Téllez-Mendoza, 1996).

2.7.1 Plastificantes internos

Se denominan así a las sustancias que forman enlaces químicos primarios durante el proceso de polimerización, dando origen a un copolímero.

2.7.2 Plastificantes externos

Estos plastificantes, a diferencia de los internos, forman enlaces de tipo físico con el polímero mediante las fuerzas de atracción intermoleculares, que modifican las propiedades mecánicas del material proporcionándole flexibilidad.

Guilbert (1986) menciona que el plastificante es un factor muy importante en la formulación de las películas ya que afecta las propiedades mecánicas y la permeabilidad.

Según Guilbert (1986), los plastificantes que se utilizan en la industria de los alimentos incluyen:

- 1.-Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos (glucosa, jarabes de fructosa o glucosa, miel).
- 2.-Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicoles y los derivados del glicerol).
- 3.-Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster, fosfolípidos y surfactantes).

2.8 Sorbitol

El sorbitol es producido por la reducción de D-glucosa. Es una sustancia que se encuentra en forma natural en muchos frutos y bayas. Se utiliza con el nombre de D-sorbitol como endulzante artificial y sustituto del azúcar en alimentos (McMurry, 2001). En la naturaleza el sorbitol es uno de los tres glúcidos (sacarosa, almidón y sorbitol). Su fórmula es $C_6H_{14}O_6$ (Figura 2.7).

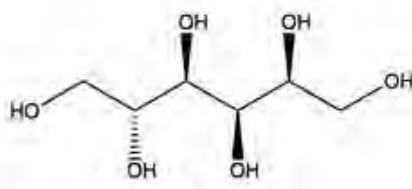
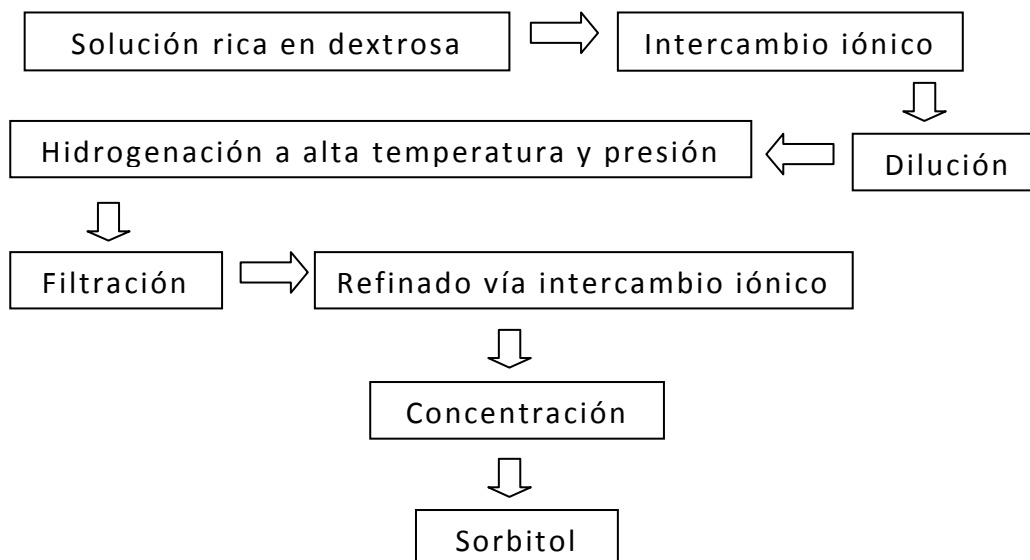


Figura 2.7: Estructura del sorbitol

2.8.1 Obtención del sorbitol

A continuación se presenta un diagrama de bloques de la obtención del sorbitol (ATANOR):



2.8.2 Aplicaciones del sorbitol

El sorbitol se utiliza en una gran variedad de compuestos. A continuación son citados algunos ejemplos (ATANOR):

- Fabricación de pastas dentífricas y emolientes en industria cosmética
- Endulzante y regulador de la humedad en industria alimenticia
- Fabricación de supositorios y jarabes en industria medicinal
- Humectante de adhesivos, cosméticos, tabaco y productos de celulosa
- Ingrediente de compuestos anticongelantes a base de glicoles
- Inhibidor de la cristalización del azúcar
- Manufactura de resinas uretánicas y espumas rígidas
- Flexibilizante y humectante del cuero
- Sustituyente de la glicerina en diferentes procesos y productos
- Ingrediente en la fabricación de explosivos
- Materia prima básica para la producción industrial de Vitamina C (ácido ascórbico)
- Fabricación de emulsionantes y tensoactivos hidrofílicos y oleofílicos
- Agente secuestrante de hierro, aluminio y cobre en soluciones alcalinas
- Humectante en impresiones textiles
- Plastificante de productos a base de gomas y gelatinas

2.9 GRENETINA

La grenetina es una sustancia sólida, translúcida, incolora y quebradiza, casi insípida, que es el resultado de un compuesto elaborado con huesos y pieles animales, principalmente del cerdo y la res el cual, a través de una serie de procedimientos, es separado de la grasa. Su elemento principal es una proteína llamada colágeno que, disuelta en agua y sometida a bajas temperaturas, adquiere una especial consistencia conocida como coloidal, la cual se encuentra justo entre los estados líquido y sólido. Una de sus propiedades es que se disuelve cuando se expone a altas temperaturas y se coagula o solidifica a bajas temperaturas.

La gelatina resulta de una hidrólisis parcial del colágeno, produce una película flexible y gruesa y las propiedades mecánicas mejoran cuando se utiliza cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones bajas (Lee et al., 2004). Actualmente se elaboran envolturas con materiales derivados de la proteína (gelatina) o con materiales derivados de mezclas de quitosana y gelatina. Generalmente, películas de un grosor aproximado de 2.5 mm, se fabrican por varios métodos y estas estructuras membranosas delgadas son utilizadas para cubrir los alimentos o como medio de separación (Johnson et al., 2001).

Se dice que la grenetina es multifuncional, pues tiene muchas aplicaciones. El centro de las aplicaciones de la grenetina es la texturización. De esto se pueden derivar propiedades funcionales típicas de la gelatina:

- Formación de geles
- Ligación de agua
- Formación de textura
- Espesamiento
- Formación de emulsiones y estabilización
- Formación de espuma
- Formación de películas
- Adhesión / cohesión
- Coloide protector

2.10 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de un material determinan el comportamiento de este durante la aplicación de alguna carga o fuerza, este comportamiento se denomina esfuerzo, existen diferentes tipos de esfuerzos: tensión, compresión, cortante y a torsión. Durante los últimos años, la prueba de esfuerzo a la tensión se ha convertido en una de las más utilizadas y eficaces pruebas para obtener información de las propiedades mecánicas del material.

Las propiedades mecánicas son diferentes para una esponja de quitina o una película de quitina. La película de quitina no es una estructura porosa como la esponja y sus moléculas están más juntas, por lo tanto, hay más puentes de hidrógeno que aumentan la cristalinidad del material. La esponja de quitina mediante la formación de espuma es, por sus propiedades mecánicas, el material más parecido a una espuma de PS comercial utilizada en recipientes desechables (Flores, 2008).

A continuación se describen los parámetros a obtener de las pruebas de tensión a los materiales en estudio.

2.10.1 Tensión en la carga máxima (MPa)

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. La tensión en la carga máxima se refiere a la fuerza máxima que es capaz de soportar el material en movimiento hasta el punto donde se presenta una ruptura (Askeland, 2006).

2.10.2 Tensión en el punto de ruptura (MPa)

Si se sigue el comportamiento que tiene la muestra durante la prueba, después del punto de resistencia máxima a la tensión, se observa que al llegar a la carga de cedencia la probeta sufre una reducción de área en su sección transversal ocasionando lo que se

llama cuello de botella y, por consiguiente, la carga que la probeta resiste comienza a decrecer hasta llegar a su ruptura (Askeland, 2006).

2.10.3 Módulo de Young (MPa)

En el módulo elástico ó módulo de Young se determina la rigidez de un material, la cual se define como la capacidad de resistencia a la deformación. Esto indica la capacidad que tiene el material a ser deformado elásticamente. Este valor se obtiene a partir de la gráfica esfuerzo vs elongación. Al dividir un incremento del esfuerzo entre un incremento de elongación pertenecientes a la zona elástica, las unidades de este valor son libras fuerza por pulgada cuadrada, lb_f/in^2 (*pounds force per square inch, psi*) en el sistema inglés o pascales en el sistema métrico, Pa (Kane, 2007).

$$E = \text{Módulo de elasticidad} = \Delta \text{esfuerzo} / \Delta \text{Elongación} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

2.10.4 Porcentaje de elongación

El resultado de esta evaluación indica la ductilidad que posee el material. Esto significa la capacidad que tiene el material para deformarse antes de llegar a su punto de ruptura. El porcentaje de elongación se define restando la longitud final (L_f) menos la longitud inicial (L_i) de la probeta. El resultado se divide entre la longitud inicial y se multiplica por cien. Esto es:

$$\% \text{ de Elongación} = [(L_f - L_i) / L_i] 100 \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

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

2.10.5 Tenacidad

Es la capacidad que tiene un material para absorber energía sin romperse. Todos los materiales tienen grietas internas que se propagan más rápido mientras menos tenaz sea el material. Cuando el material se deforma con facilidad, es decir, es blando, la porción del material que rodea la grieta se deforma. Este proceso consume energía lo que retarda la propagación de la grieta y consigue que el material sea tenaz. En los materiales más duros, esta deformación no ocurre por lo que las grietas disponen de mucha más energía para propagarse, lo que lleva al material a tener una baja tenacidad (Askeland, 2006).

2.10.6 Límite elástico

El esfuerzo a partir del cual las deformaciones aumentan en una proporción mayor que el aumento de las cargas aplicadas, se denomina límite elástico. A veces también se llama límite proporcional. Si durante la prueba realizada, hasta llegar al límite elástico, se retiran las cargas del espécimen, éste recupera su longitud original. Algunas veces, el límite elástico se define como el esfuerzo a partir del cual el miembro o prueba no recupera su longitud original cuando se retiran las cargas, existiendo entonces lo que se llama una deformación permanente (Kane, 2007).

Capítulo III

Experimentación

“Lo que tenemos que aprender lo aprendemos haciéndolo”

Aristóteles

3.1 PROCEDIMIENTOS

A continuación se describen los procedimientos para la obtención de la quitina; desde la obtención de las cabezas y exoesqueletos de camarón, la limpieza de los mismos, la preparación del cefalotórax parcialmente desproteínizado (CPD) y la elaboración del disolvente y plastificantes utilizados. Además, se describió el método llevado a cabo para incorporar los plastificantes a las esponjas de quitina. En los Anexos A.1 y A.2 se presentan los listados de reactivos, materias primas, materiales y equipo.

3.1.1 Obtención de quitina

Con la metodología propuesta (Flores et al., 2007) fue posible extraer la quitina del cefalotórax de camarón (CC) utilizando el disolvente MAC 141© y siguiendo los preceptos de la *Química verde*³, al evitar el empleo de sustancias corrosivas que además son agresivas para la molécula de quitina. Durante el procedimiento se separó la mayor parte de proteínas del CC con agua en sustitución de la solución básica (NaOH) y en lugar de usar una solución ácida (HCl) como en el método tradicional, para disolver los carbonatos presentes, se preparó un disolvente a base de cloruro de calcio para su extracción. Una ventaja adicional del método es que el disolvente ocupado puede recuperarse y reutilizarse.

3.1.2 Obtención del cefalotórax parcialmente desproteínizado, CPD (Flores, 2008)

- 1.-Para el caso de esta experimentación las cabezas frescas fueron obtenidas en la Central de pescados y mariscos La Nueva Viga, en México, D.F. donde fueron proporcionadas gratuitamente por los comerciantes, pues ellos acostumbran desecharlas.
- 2.-Las cabezas y exoesqueletos de camarón fueron trasladados a los Laboratorios 301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química donde fueron limpiados de objetos extraños, bajo el chorro de agua de la llave, para después retirar toda la materia interna (vísceras). Por último, se realizó un lavado con la finalidad de que no quedaran residuos que pudieran provocar la descomposición prematura del cefalotórax parcialmente desproteínizado (CPD).
- 3.-Los cefalotórax se licuaron durante 30 segundos a velocidad media en una relación de dos partes de agua por una de cefalotórax.
- 4.-El producto licuado se filtró en un tamiz con apertura de malla de 149 micrones (No. 100) para así eliminar proteínas solubles.

³La *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)

5.-El cefalotórax resultante del filtrado fue extendido en charolas recubiertas de aluminio y puesto a secar a 60°C durante 18 horas para así obtener el cefalotórax parcialmente desproteínizado (CPD) (Figura3.1).



Fotografía 3.1: cefalotórax de camarón parcialmente desproteínizado

En investigaciones previas sobre la obtención de quitina a partir de cefalotórax de camarón, se estudió el uso de disolventes menos agresivos con la quitina. En dicho estudio se determinó que el disolvente denominado MAC 141©. La abreviatura MAC hace referencia a las iniciales de las sustancias que componen al disolvente: Metanol, agua y cloruro de calcio y los números corresponden a la cantidad respectiva en moles de cada componente en la mezcla. Es decir, el disolvente MAC 141©, por ejemplo, contiene un mol de metanol por 4 moles de agua y un mol de cloruro de calcio. Éste fue el disolvente óptimo para la elaboración de esponjas de quitina ya que se utiliza una menor cantidad de metanol, con respecto a otros disolventes propuestos en la literatura (Flores, 2008).

Para poder disolver a la quitina, el sistema MAC rompe los puentes de hidrógeno y forma un complejo quitina-sal de calcio soluble que modifica el arreglo de las regiones hidrofóbicas e hidrofílicas, cambiando la estructura cristalina de la quitina (Reeves y Chen, 2003).

La producción de esponjas de quitina, por sus siglas SPQ, con esta metodología es adecuada y la extracción se efectúa a temperatura ambiente (Arias y Mendoza, 2010; Bárcenas-Ochoa, 2010).

3.1.3 Preparación del disolvente MAC 141©

- 1.-Se miden 180ml de agua y 100ml de metanol para mezclarse dentro de un matraz bola de 500ml.
- 2.-El matraz con la solución metanol-agua es introducido en un recipiente con hielo.

- 3.-Lentamente se añaden 277.45g de cloruro de calcio a la solución dentro del matraz a la vez que el matraz es girado en el recipiente de hielo para controlar la reacción exotérmica generada y así evitar que la solución se evapore.
- 4.-El matraz con la mezcla se instala en un sistema a reflujo durante cuatro horas (Figura 3.2). Una vez transcurridas las 4 horas, es retirado el calentamiento para permitir que la solución se enfríe.
- 5.-El disolvente obtenido es almacenado hasta su uso, en un envase hermético, donde comienza a precipitar el cloruro de calcio no disuelto.
- 6.-En alrededor de 7 días la mayoría del cloruro de calcio no disuelto habrá precipitado dejando una solución transparente y lista para usarse.

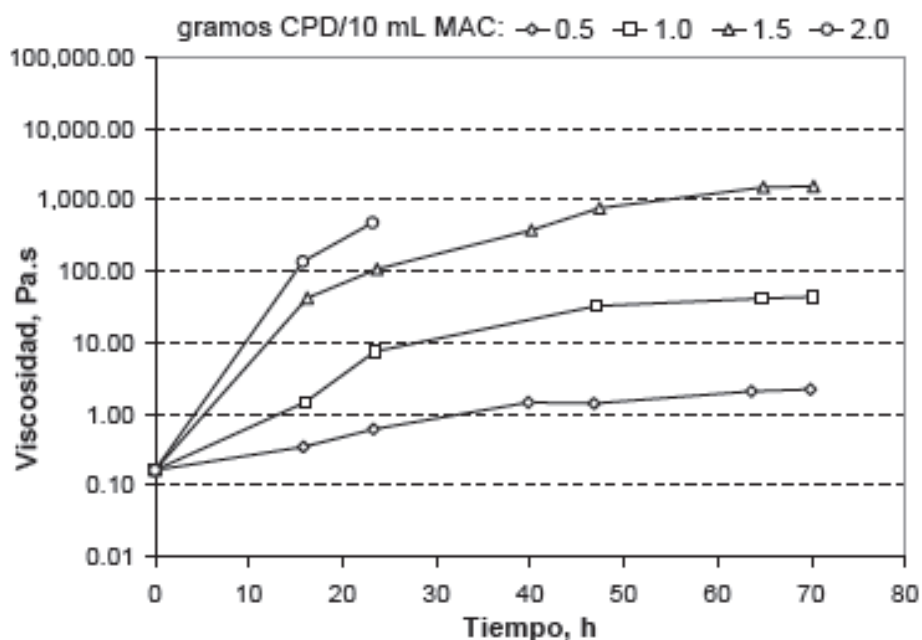


Fotografía 3.2: Obtención del disolvente MAC 141©

En los estudios realizados por Flores, 2008 (Gráfica 3.1) se presenta el incremento de la viscosidad a 25°C de la mezcla CPD-MAC141©, a diferentes concentraciones, conforme aumenta el tiempo de extracción.

De la Gráfica 3.1 se puede observar que a mayor concentración de CPD y a mayor tiempo de extracción, la viscosidad aumenta, lo que representa una mayor disolución de quitina. Tomando en consideración que se debe separar el CPD, no disuelto, la viscosidad del sistema no debe ser muy alta para facilitar su posterior filtración, como fue mencionado por Flores (2008) en su investigación:

“El sistema que presentó una viscosidad adecuada para la filtración, fue con la relación 1:10 con 48 horas de extracción. Con más tiempo de extracción la viscosidad no aumentó apreciablemente lo que indicó que no mejoró la extracción. Este sistema, además, produjo una excelente espuma para la formación de esponja. Las mezclas con mayor concentración de CPD poseyeron las viscosidades más altas lo que indicó que contuvieron una importante cantidad de quitina disuelta, pero fueron difíciles de filtrar. La espuma que se produjo con la relación 0.5:10, en cambio, no tuvo una buena consistencia debido a la poca cantidad de quitina disuelta y no fue adecuada para la formación de esponja” (Flores, 2008)

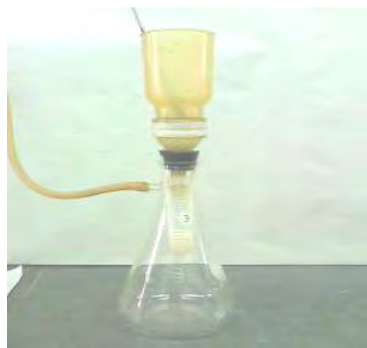


Gráfica. 3.1: Aumento de la viscosidad de la mezcla CPD-MAC141© en función del tiempo de extracción a 25°C. Aguja S28 (0.3-120 rpm)(Flores, 2008)

3.1.4 Obtención de la quitina en disolvente Metanol-Agua-Cloruro de calcio, QUIMAC, y preparación de la esponja de quitina

- 1.-Para la obtención de la solución de quitina en el disolvente Metanol-Agua-Cloruro de calcio, denominada QUIMAC, se combinan 10ml de disolvente MAC por cada gramo de CPD. Esta mezcla se homogeneiza para favorecer la extracción de quitina y se coloca dentro de una incubadora a 25°C por un periodo de 48 horas.
- 2.-Transcurridas 48 horas la mezcla del paso 1 se filtra al vacío, en el equipo Millipore (Figura 3.3), para retirar el CPD que no se disolvió y recuperar la solución QUIMAC compuesta de disolvente MAC, quitina y proteínas en menor proporción.

- 3.-La solución QUIMAC obtenida se agita, con una varilla de vidrio, hasta obtener una espuma que después se distribuye uniformemente en una charola plástica.
- 4.-La charola con la espuma QUIMAC se introduce en una cámara de humidificación (Humedad relativa > 90%) por un periodo de 48 horas. Transcurrido el tiempo dentro de la cámara de humidificación la quitina precipita en forma de esponja (Figura 3.4).



Fotografía 3.3: Obtención de la solución QUIMAC en equipo millipore



Fotografía 3.4: Esponja de quitina obtenida después de humidificar la solución QUIMAC

- 5.-La esponja obtenida fue lavada, para retirar el licor formado, y secada a 60°C durante 6 horas.

3.1.5 Corte de probetas y elaboración de plastificantes

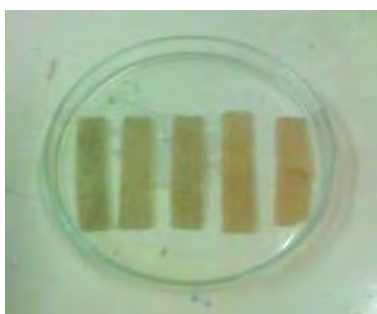
- 1.-Las muestras de esponja de quitina se cortaron tomando como guía las normas ASTM D882-02 y ASTM D638-03 (ASTM, 2003) para la realización de las pruebas mecánicas.
- 2.-De recipientes fabricados de poliestireno (bandejas y vasos) se cortaron probetas de acuerdo con las normas utilizadas como referencia (ASTM D882-02 y ASTM D638-03) para obtener datos comparativos de las pruebas mecánicas.
- 3.-Las soluciones acuosas de sorbitol al 40, 50 y 60% y de gretetina al 5, 10 y 15% se prepararon en una relación masa/masa. Cabe mencionar que estas soluciones fueron utilizadas como plastificantes (Figura 3.5).



Fotografía 3.5: Soluciones plastificantes empleadas a diferentes concentraciones

3.1.6 Aplicación de plastificantes

- 1.-Las muestras previamente cortadas de esponja de quitina se colocaron en cajas Petri donde se bañaron con solución plastificante (Fig. 3.6)
- 2.-Debido a que las muestras quedaron sumergidas por 24 horas en solución plastificante, se requirió mantener los compuestos plastificantes en estado líquido, para lo cual se mantuvo la temperatura de las soluciones de gretina a 36 °C.
- 3.-Transcurridas 24 horas las muestras de quitina se retiraron de las soluciones plastificantes. Las muestras obtenidas a base de sorbitol fueron secadas a la estufa a 60°C por 6 horas y las obtenidas a partir de gretina fueron secadas a temperatura ambiente.
- 4.-Una vez obtenidas las esponjas fueron registradas las dimensiones de cada probeta, ancho, largo y espesor.



Fotografía 3.6: Aplicación de plastificante en las muestras de esponjas de quitina

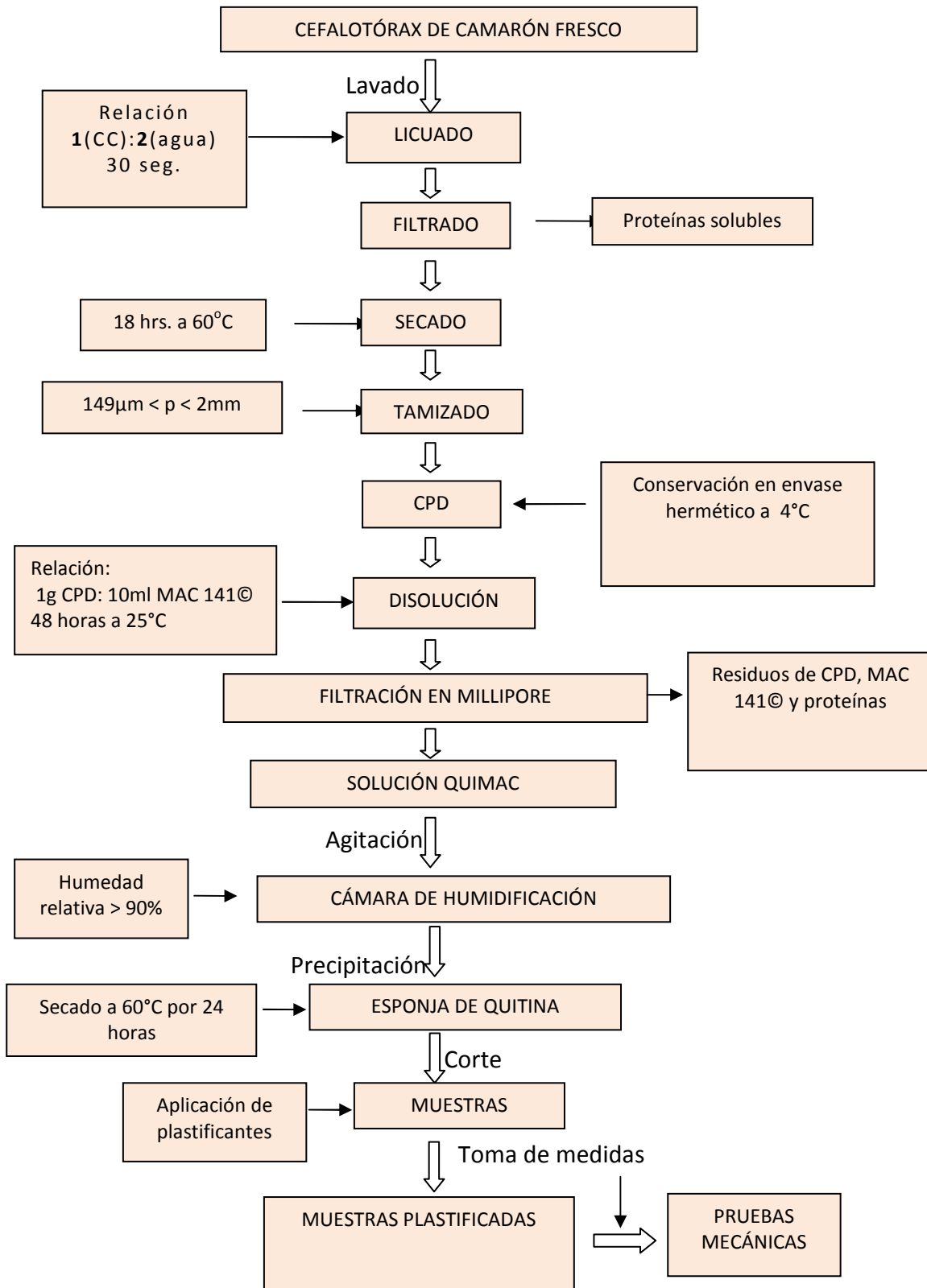
3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA EXPERIMENTACIÓN

En la Gráfica 3.2 se presenta el diagrama de bloques de la experimentación seguida en esta investigación. El acervo fotográfico y el diagrama de la disposición controlada de residuos se encuentra en el anexo A.4 y A.5 respectivamente.

3.3 PRUEBAS MECÁNICAS

Los resultados de las pruebas mecánicas se obtuvieron a partir de un equipo Instron 5500R localizado en el Laboratorio de Pruebas Mecánicas del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

Para el dimensionamiento de las probetas y la realización de pruebas mecánicas se utilizaron como referencia las normas ASTM D638-03 y ASTM D882-02 (ASTM, 2003), de las cuales se extrajo información de utilidad para la investigación.



Gráfica 3.2. Diagrama de bloques de la experimentación seguida

3.3.1 ASTM D882-02 (ASTM, 2003)

Método de prueba estándar para las propiedades de tensión de plásticos en forma de lámina delgada

Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades de tensión de plásticos en forma de láminas delgadas incluyendo películas menores de 1.0mm (0.04pulgadas) de espesor. Los datos obtenidos por este método de prueba son apropiados para su uso en el diseño de ingeniería.

Las probetas angostas aumentan los efectos de deformaciones en los bordes, grietas o ambos.

Debe ejercerse un cuidado extremo en el corte de las probetas para prevenir cortes en los bordes y rupturas las cuales, probablemente, causan fallas prematuras.

Cuando sea posible, las probetas de ensayo deben seleccionarse de modo que el espesor tenga una variación no mayor al 10% ($\pm 5\%$) a lo largo de la sección de la probeta que se encuentra entre las mordazas en el caso de materiales de 0.25mm o menos de espesor y no mayor al 5% ($\pm 2.5\%$), en el caso de materiales de entre 0.25mm y 1.00mm de espesor.

Las pruebas se realizaron a una velocidad de cruceta de 10 mm/min y una distancia inicial de 30mm, manteniendo condiciones de 50% de humedad y una temperatura de 22°C.

Las propiedades de tensión pueden variar según el espesor, el método de preparación de la muestra, la manera en que se colocan las probetas y la manera en que se mide la separación de las crucetas que sostienen las probetas.

3.3.2 NORMA ASTM D638-03 (ASTM, 2003)

Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos

Este método comprende la determinación de las propiedades a tensión de plásticos reforzados y no reforzados cuando se ensayan en condiciones definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina de ensayo. Se puede usar para el ensayo de materiales de cualquier espesor hasta de 14mm (0.55pulgadas).

Las propiedades de tensión pueden variar con la preparación del espécimen y con la velocidad y el ambiente de ensayo. En consecuencia, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben controlarse cuidadosamente. Se debe tener el máximo cuidado para garantizar que todas las muestras se preparen exactamente de la misma manera.

Las probetas se deberán preparar con operaciones de maquinado o corte con troquel, a partir de materiales en lámina, plancha, placa o forma similar. Todas las superficies del espécimen deben estar libres de defectos visibles, rasguños o imperfecciones.

Las probetas fracturadas por algún defecto o por fuera de la sección de ensayo transversal deberán de ser desechadas, repitiendo los ensayos, a menos que los defectos constituyan una variable en estudio. El registro obtenido es la curva esfuerzo-deformación.

3.3.3. Controles

Para evaluar las muestras o probetas de los diferentes materiales se empleó poliestireno espumado y sin espumar. El material espumado se obtuvo de platos desechables comerciales adquiridos en una tienda de la Ciudad de México. Para el material sin espumar se adquirieron vasos desechables. Se cortaron de la misma forma que las probetas obtenidas experimentalmente.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

Mediante el uso del software estadístico Statgraphics Plus 5.1 se efectúa un análisis de varianza y se comparan los valores medios de cada propiedad para los diferentes tratamientos. La prueba-F en la tabla del análisis de varianza, ANDEVA (en inglés ANOVA, por *analysis of variance*) determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las pruebas de rangos múltiples describen cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

El método en que se realiza el análisis de los datos experimentales contribuye a dar continuidad a los estudios previos sobre el tema, como el de Bárcenas Ochoa en 2010.

Capítulo IV

Resultados y discusión

*“Una meta no siempre se hace para ser alcanzada,
a menudo sirve simplemente como objetivo”*

(Proverbio Japonés)

4.1 RECUPERACIÓN DE CEFALOTÓRAX PARCIALMENTE DESPROTEINIZADO

Para la elaboración de las esponjas de quitina se procesó cefalotórax (cabezas y exoesqueletos) frescos de camarón con la finalidad de obtenerlos limpios de impurezas. Posteriormente, fueron licuados con agua de la llave (potable) y filtrados dejando el sobrenadante (agua pigmentada para otros experimentos) y conservando los sólidos, denominados cefalotórax parcialmente desproteínizado (CPD). Durante este procedimiento se registró una pérdida de masa a partir de la cantidad inicial de cefalotórax. Los resultados se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Extracción de cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteínizados (CPD)

Muestra	Cefalotórax de camarón (g)	Cefalotórax limpio de camarón (g)	CPD Molido y seco (g)	Recuperación (%)
1	5100	331.5	112.4	33.91
2	30000	1420	520	37
Promedio	17550	875.75	316.2	35.45

Como se puede apreciar en la Tabla 4.1, una importante cantidad de materia se pierde en la limpieza del cefalotórax, ya que las vísceras y otros órganos constituyen una masa importante que es eliminada para emplearse en otras pruebas. Después, se retiran las proteínas solubles durante el licuado, además de pigmentos y otros compuestos. El agua, que representa otra parte importante, se pierde durante el secado. De todo éste proceso queda únicamente 112.4g que representaron el 33.91% con respecto del cefalotórax limpio de camarón. Sin embargo, es importante destacar que es posible utilizar la parte líquida resultante de este proceso para la obtención de pigmentos y de proteínas para otros usos (Gutiérrez-Cabello et al., 2009).

4.2 ELABORACIÓN DE MUESTRAS

Con la finalidad de conseguir muestras lo más homogéneas entre sí y contar con una mayor certeza en la comparación de resultados, se optó por la elaboración de una sola muestra de esponja de quitina, de un tamaño considerable para que, a partir de ésta, se cortaran las probetas necesarias requeridas en las pruebas mecánicas.

De este procedimiento se lograron los resultados que se mencionan en la Tabla 4.2. Se aprecia en esta tabla que el rendimiento de esponja de quitina con respecto al CPD inicial fue elevado. Debe, sin embargo, tomarse en consideración que la eficiencia en la filtración fue baja, por lo que se puede presuponer que no todo es quitina sino que también puede haber residuos de CPD no disueltos.

Tabla 4.2: obtención de esponja de quitina a partir de CPD

CPD (g)	MAC 141 (ml)	QUIMAC (g)	SPQ (g)	Rendimiento a partir del CPD inicial (%)
60.0231	600	222.4096	18.8651	31.4297

CPD, subproductos de camarón parcialmente desproteinizados; MAC-141, disolvente de metanol-agua-cloruro de calcio 1:4:1 molar; QUIMAC, quitina disuelta en MAC

El valor que se obtuvo para la recuperación de QUIMAC es similar con los obtenidos por Óscar Arias y Ana Mendoza (2010), así como con el resultado detallado por Evelyn Ochoa (2010). En cuanto a la esponja de quitina obtenida a partir del CPD inicial, el rendimiento que se presenta es mucho mayor que el presentado por Óscar Arias y Ana Mendoza, pero menor que el descrito por Evelyn Ochoa.

4.3 ADICIÓN DE AGENTES PLASTIFICANTES

En este procedimiento, cada una de las muestras de esponja de quitina fue cortada aproximadamente de 50mm de longitud por 10mm de ancho. Las muestras a las que no se les aplicó el plastificante y que sirvieron de control, se contrajeron al reaccionar con la humedad ambiental debido a que todavía contenían residuos de calcio. El proceso de separación para eliminar los excedentes de calcio del disolvente MAC-141 © es un área de oportunidad para una siguiente investigación ya que, dependiendo del tipo de material que se desea obtener, es deseable o indeseable tener residuos del disolvente en la quitina separada.

Para el caso de las esponjas tratadas con soluciones de grenetina, las dimensiones se vieron reducidas al estar en contacto por 24 horas con el agente plastificante (las soluciones plastificantes contenían agua que hidrató las concentraciones residuales de calcio en la esponja).

En las muestras donde se utilizó sorbitol como agente plastificante, la reducción en las dimensiones también fueron provocadas por el agua presente en el plastificante pero, en este caso, la afectación fue notablemente menor que para las muestras tratadas con el plastificante a base de grenetina. Además, las soluciones con sorbitol no requirieron la aplicación de calor para mantenerse en estado líquido como sucedió con las de grenetina.

Con la intención de someter a pruebas mecánicas al poliestireno espumado y sin espumar, se cortaron muestras de estos materiales, a los que también se les registró su masa y se tomaron sus dimensiones. Los datos obtenidos para cada caso se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Masa y dimensiones de las muestras utilizadas en la experimentación

Muestra		Masa (g)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
SPQ	1	0.6915	45	9.62	1.98
	2	0.7728	44	10.24	2.34
	3	0.7492	48	10.32	2.14
	4	0.7168	44	9.43	2.17
SPQ-G5%	1	0.4796	34	7.53	2.29
	2	0.4330	35	7.54	1.93
	3	0.5291	34	7.28	2.08
	4	0.4326	35	7.5	2.03
SPQ-G10%	1	0.5208	36	7.67	2.11
	2	0.4503	35	7.65	1.98
	3	0.5363	36	8.25	2.26
	4	0.5581	36	7.26	2.07
SPQ-G15%	1	0.5078	36	8.02	2.32
	2	0.5181	35	7.55	2.17
	3	0.5364	36	7.7	1.92
	4	0.4698	36	7.66	2.01
SPQ-S40%	1	0.5527	40	8.62	1.82
	2	0.5598	41	8.82	2.07
	3	0.6491	40	8.23	2.12
	4	0.5246	42	9.12	2.06
SPQ-S50%	1	0.5835	41	9.23	2.23
	2	0.6091	41	9.02	2.12
	3	0.6239	42	8.87	1.98
	4	0.6464	41	8.97	2.1
SPQ-S60%	1	0.6438	42	9.33	2.03
	2	0.7408	41	9.25	2.27
	3	0.6559	42	9.37	2.16
	4	0.8152	41	9.43	2.29
PS NO ESPUMADO	1	0.0392	50	10	1.92
	2	0.0380	50	10	1.89
	3	0.0379	50	10	1.91
	4	0.0392	50	10	1.9
PS ESPUMADO	1	0.0696	50	10	2.34
	2	0.0718	50	10	2.48
	3	0.0698	50	10	2.37
	4	0.0710	50	10	2.48

En donde:

SPQ: Esponja de quitina; SPQ-G5%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 5%; SPQ-G10%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 10%; SPQ-G15%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 15%; SPQ-S40%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 40%; SPQ-S50%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 50%; SPQ-S60%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 60%; PS: Poliestireno

4.4 ANÁLISIS DE LAS DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS

En el caso del análisis de dimensiones de las probetas se aprecia que, debido a factores ambientales y a los mencionados anteriormente sobre la dificultad de remover completamente los residuos de calcio del disolvente MAC 141©, se presentaron variaciones en las medidas longitudinales y de ancho de las probetas.

La Tabla 4.4 presenta los resultados obtenidos de la reducción de las dimensiones de largo y ancho de las muestras de esponjas sin plastificar, plastificadas con grenetina y plastificadas con sorbitol.

Tabla 4.4: Promedio de pesos y dimensiones de las muestras de esponja de quitina con y sin plastificante y de poliestireno sin espumar y espumado

Muestra	Masa (g)	Longitud inicial (mm)	Longitud final (mm)	Ancho inicial (mm)	Ancho final (mm)	Espesor (mm)
SPQ	0.7326	50	45.3	10	9.9025	2.1575
SPQ-G 5 %	0.4686	50	34.5	10	7.4625	2.0825
SPQ-G 10 %	0.5164	50	35.8	10	7.7075	2.1050
SPQ-G 15 %	0.5080	50	35.8	10	7.7325	2.1050
SPQ-S 40 %	0.5716	50	40.8	10	8.6975	2.0175
SPQ-S 50 %	0.6157	50	41.3	10	9.0225	2.1075
SPQ-S 60 %	0.7139	50	41.5	10	9.3450	2.1875
PS sin espumar	0.0386	50	50.0	10	10	1.9050
PS Espumado	0.0706	50	50.0	10	10	2.4175

En donde:

SPQ: Esponja de quitina; SPQ-G5%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 5% ;SPQ-G10%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 10%; SPQ-G15%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 15%; SPQ-S40%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 40%; SPQ-S50%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 50%, SPQ-S60%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 60%, PS: Poliestireno

De la Tabla 4.8 se puede ver que la reducción en la longitud de las esponjas sin plastificar es de aproximadamente 5mm, en las plastificadas con grenetina se aproxima a los 15mm mientras que en las muestras tratadas con soluciones de sorbitol la reducción es de casi 10mm. Para el caso del ancho de las muestras las reducciones considerables se presentan en las esponjas tratadas con grenetina con una reducción de aproximadamente 2.5mm y para las muestras con sorbitol con alrededor de 1mm. En cuanto al espesor se obtiene un buen resultado, como se muestra, al procurar asimilar este aspecto con el que poseen las muestras de poliestireno.

Es importante resaltar que en las muestras con sorbitol no hay reducciones de la misma magnitud que en las tratadas con grenetina. Esto puede atribuirse a que a las soluciones de grenetina se les aplicó calor. El calentamiento afecta la viscosidad de las soluciones y, por ende, la absorción de plastificante y el tamaño final de las probetas.

La humedad ambiental parece jugar un rol muy importante que deberá ser tomado en cuenta en la siguiente etapa de la investigación, con objeto de que las esponjas sean estables antes de realizar las pruebas mecánicas. La Ciudad de México experimenta cambios en la humedad relativa bastante considerables a lo largo del día (desde casi 100% en las primeras horas de la mañana hasta 60% cuando el sol está en el cenit), lo cual va a afectar las esponjas si éstas todavía tienen residuos de calcio. La remoción del calcio del disolvente MAC 141© resulta crucial para esto.

4.5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS

Una vez registradas las medidas en las muestras, se procedió a la realización de las pruebas mecánicas en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

4.5.1 Pruebas a esponjas sin plastificar

Las primeras muestras probadas fueron las esponjas sin plastificante, mismas que sirvieron como control para comparar los resultados con los de las muestras ya plastificadas, obteniendo los resultados compilados en la Tabla 4.5.

4.5.2 Pruebas a esponjas con grenetina

A las esponjas de quitina que se les adicionó el plastificante de grenetina al 5%, con el cual se probaron 3 muestras, de las que se obtuvieron datos menores a los de las esponjas control. Para las muestras sumergidas en solución de grenetina al 10% se observó que solamente dos de las cuatro esponjas lograron ser probadas ya que las muestras se fracturaron antes de registrar algún dato, por lo que los valores obtenidos fueron de escasa utilidad y confianza. Las muestras tratadas con una solución de grenetina al 15% dieron mayores que los de las esponjas al 5%. Aunque los valores todavía quedaron por debajo de las esponjas control (Tabla 4.6).

4.5.3 Pruebas a esponjas con sorbitol

Al adicionar el otro agente plastificante (sorbitol) a las esponjas de quitina se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.7. En ella se aprecian valores más elevados que con cualquier concentración de grenetina.

4.5.4 Pruebas a muestras control (poliestireno)

Con objeto de comparar el efecto de los agentes plastificantes grenetina y sorbitol adicionados a las esponjas de quitina se cortaron muestras de poliestireno sin espumar (utilizado en la elaboración de vasos desechables) y de poliestireno espumado (utilizado en platos desechables para alimentos). Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 4.8.

Tabla 4.5: Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a las esponjas de quitina sin plastificar

Muestra	Tensión en la carga máxima (MPa)	Tensión en el punto de ruptura (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Deformación en la carga última (%)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)	
SPQ	1	0.8370	0.8370	16.157	10.133	0.1172	0.5200
	2	0.6730	0.3190	20.149	4.5330	0.0491	0.6100
	3	0.8170	0.3070	23.410	5.2000	0.0743	0.6800
	4	0.7260	0.3380	12.628	11.069	0.1125	0.5200
Promedio	0.7633 ^{δ±0.07}	0.4503 ^{δ±0.25}	18.0860 ^{δ±4.69}	7.7338 ^{δ±3.34}	0.0883 ^{δ±0.03}	0.5825 ^{δ±0.07}	

Donde

SPQ= Esponjas de quitina

*El límite elástico se calculó a partir del gráfico de esfuerzo vs % deformación obtenido de las pruebas

Tabla 4.6: Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a esponjas de quitina tratadas con soluciones a base de grenetina

Muestra	Tensión en la carga máxima (MPa)	Tensión en el punto de ruptura (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Deformación en la carga última (%)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)	
SPQ-G5%	1	0.2100	0.1220	28.8280	1.7340	0.0065	0.1100
	2	0.0370	0.0320	7.8660	6.9340	0.0027	0.0300
	3	0.0590	0.0490	16.8390	6.9340	0.0041	0.0100
	4	EF	EF	EF	EF	EF	EF
Promedio	0.1020 ^{δ±0.09}	0.0677 ^{δ±0.04}	17.8443 ^{δ±10.51}	5.2007 ^{δ±3.0}	0.0044 ^{δ±0.001}	0.0500 ^{δ±0.05}	
SPQ-G10%	1	0.0870	0.0650	13.6430	2.8000	0.0030	0.0400
	2	0.2920	0.2920	46.8160	1.9980	0.0061	0.2600
	3	EF	EF	EF	EF	EF	EF
	4	EF	EF	EF	EF	EF	EF
Promedio	0.1895 ^{δ±0.14}	0.1785 ^{δ±0.16}	30.2295 ^{δ±23.4}	2.3990 ^{δ±0.56}	0.0046 ^{δ±0.002}	0.1500 ^{δ±0.15}	
SPQ-G15%	1	0.5220	0.2160	33.2820	2.5320	0.0277	0.2300
	2	0.9280	0.5180	48.7250	2.8000	0.0548	0.1900
	3	0.0810	0.0810	6.1010	2.3990	0.0025	0.0400
	4	0.0250	0.0140	7.1880	5.5990	0.0018	0.0200
Promedio	0.3890 ^{δ±0.42}	0.2073 ^{δ±0.22}	23.8240 ^{δ±20.81}	3.3325 ^{δ±1.52}	0.0217 ^{δ±0.02}	0.1200 ^{δ±0.10}	

En donde:

SPQ-G5%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 5%; SPQ-G10%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 10%; SPQ-G15%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 15%, EF: Esponja fracturada

NOTA: Las celdas que señalan muestra fracturada indican que la muestra no soportó la presión de las mordazas del equipo Instron utilizado para las pruebas mecánicas, rompiéndose al ser colocadas, razón por la cual no pudieron ser evaluadas

Tabla 4.7: Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a esponjas de quitina tratadas con soluciones a base de sorbitol

Muestra	Tensión en la carga máxima (MPa)	Tensión en el punto de ruptura (MPa)	Módulo de Young (Mpa)	Deformación en la carga última (%)	Tenacidad (Mpa)	Límite elástico (Mpa)	
SPQ-S40%	1	0.4670	0.4670	12.6540	15.6000	0.0785	0.0510
	2	0.3060	0.1140	7.7100	5.9990	0.0217	0.2800
	3	0.5620	0.5620	9.6650	15.7000	0.0933	0.4700
	4	0.4970	0.2550	14.6910	5.7330	0.0378	0.5400
Promedio	0.4580 ^{δ±0.10}	0.3495 ^{δ±0.20}	11.1800 ^{δ±3.10}	10.7580 ^{δ±0.5.65}	0.0578 ^{δ±0.03}	0.3353 ^{δ±0.21}	
SPQ-S50%	1	0.4140	0.1810	17.8960	4.8000	0.0352	0.3700
	2	1.1190	1.1190	42.6710	3.9990	0.0571	1.0600
	3	0.4700	0.2120	18.1770	5.3340	0.0376	0.4400
	4	EF	EF	EF	EF	EF	EF
Promedio	0.6677 ^{δ±0.39}	0.5040 ^{δ±0.53}	26.2480 ^{δ±14.22}	4.7110 ^{δ±0.67}	0.0433 ^{δ±0.01}	0.6233 ^{δ±0.37}	
SPQ-S60%	1	0.5600	0.3010	36.3990	2.9330	0.0241	0.1600
	2	0.7080	0.5220	22.9030	8.7020	0.0708	0.5000
	3	1.1850	1.0050	46.0570	14.6020	0.1813	0.7000
	4	0.5210	0.5210	20.8220	5.5990	0.0375	1.1600
Promedio	0.7435 ^{δ±0.30}	0.5873 ^{δ±0.29}	31.5453 ^{δ±11.8}	7.9590 ^{δ±5.01}	0.0784 ^{δ±0.07}	0.6300 ^{δ±0.41}	

En donde:

SPQ-S40%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 40%; SPQ-S50%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 50%, SPQ-S60%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 60%, EF: Esponja fracturada

Tabla 4.8: Resultados de las pruebas mecánicas aplicadas a muestras de poliestireno espumado y sin espumar

Muestra	Tensión en la carga máxima (MPa)	Tensión en el punto de ruptura (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Deformación en la carga última (%)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)	
PS SIN ESPUMAR	1	0.5060	0.5060	11.2250	5.2000	0.0288	0.3700
	2	0.4210	0.4210	10.1640	4.9320	0.0223	0.3700
	3	0.4050	0.3450	10.5960	3.7320	0.0190	0.3500
	4	0.4310	0.4310	10.3760	5.2000	0.0263	0.3700
Promedio	0.4408 ^{δ±0.04}	0.4258 ^{δ±0.06}	10.5903 ^{δ±0.45}	4.7660 ^{δ±0.70}	0.0241 ^{δ±0.004}	0.3650 ^{δ±0.01}	
PS ESPUMADO	1	0.4910	0.2280	22.6310	4.3340	0.0309	0.1400
	2	0.6530	0.6530	20.4720	4.9320	0.0333	0.1400
	3	0.6660	0.6660	15.4630	6.7320	0.0486	0.6100
	4	0.6130	0.2990	21.9230	3.3340	0.0423	0.5000
Promedio	0.6058 ^{δ±0.07}	0.4615 ^{δ±0.23}	20.1223 ^{δ±3.23}	4.8330 ^{δ±1.42}	0.0388 ^{δ±0.008}	0.3475 ^{δ±0.24}	

En donde:

PS: Poliestireno

4.6 RESUMEN DE RESULTADOS

Una vez terminadas las pruebas mecánicas se elaboro la Tabla 4.9 que sintetiza los resultados obtenidos en la experimentación. Estos resultados representan el promedio de los ensayos realizados por cuadruplicado para cada concentración.

Tabla 4.9: Resultados promedio de las pruebas mecánicas aplicadas a esponjas de quitina con y sin plastificante y de poliestireno espumado y sin espumar

Muestra	Tensión en la carga máxima (MPa)	Tensión en el punto de ruptura (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Deformación en la carga última (%)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)
SPQ	0.7633 ^{δ±0.07}	0.4503 ^{δ±0.25}	18.0860 ^{δ±4.69}	7.7338 ^{δ±3.34}	0.0883 ^{δ±0.03}	0.5825 ^{δ±0.07}
SPQ-Grenetina 5%	0.1020 ^{δ±0.09}	0.0677 ^{δ±0.04}	17.8443 ^{δ±10.51}	5.2007 ^{δ±3.0}	0.0044 ^{δ±0.001}	0.0500 ^{δ±0.05}
SPQ-Grenetina 10%	0.1895 ^{δ±0.14}	0.1785 ^{δ±0.16}	30.2295 ^{δ±23.4}	2.3990 ^{δ±0.56}	0.0046 ^{δ±0.002}	0.1500 ^{δ±0.15}
SPQ-Grenetina 15%	0.3890 ^{δ±0.42}	0.2073 ^{δ±0.22}	23.8240 ^{δ±20.81}	3.3325 ^{δ±1.52}	0.0217 ^{δ±0.02}	0.1200 ^{δ±0.10}
SPQ-Sorbitol 40%	0.4580 ^{δ±0.10}	0.3495 ^{δ±0.20}	11.1800 ^{δ±3.10}	10.7580 ^{δ±0.5.65}	0.0578 ^{δ±0.03}	0.3353 ^{δ±0.21}
SPQ-Sorbitol 50%	0.6677 ^{δ±0.39}	0.5040 ^{δ±0.53}	26.2480 ^{δ±14.22}	4.7110 ^{δ±0.67}	0.0433 ^{δ±0.01}	0.6233 ^{δ±0.37}
SPQ-Sorbitol 60%	0.7435 ^{δ±0.30}	0.5873 ^{δ±0.29}	31.5453 ^{δ±11.8}	7.9590 ^{δ±5.01}	0.0784 ^{δ±0.07}	0.6300 ^{δ±0.41}
PS sin espumar	0.4408 ^{δ±0.04}	0.4258 ^{δ±0.06}	10.5903 ^{δ±0.45}	4.7660 ^{δ±0.70}	0.0241 ^{δ±0.004}	0.3650 ^{δ±0.01}
PS espumado	0.6058 ^{δ±0.07}	0.4615 ^{δ±0.23}	20.1223 ^{δ±3.23}	4.8330 ^{δ±1.42}	0.0388 ^{δ±0.008}	0.3475 ^{δ±0.24}

En donde:

SPQ: Esponja de quitina; SPQ-G5%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 5% ;SPQ-G10%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 10%; SPQ-G15%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 15%; SPQ-S40%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 40%; SPQ-S50%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 50%, SPQ-S60%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 60%; PS: Poliestireno

4.6.1 Análisis de los datos obtenidos de las pruebas mecánicas

Analizando los datos para la esponja de quitina sin plastificar se observa que la tensión en la carga máxima, la deformación en la carga última, la tenacidad y el límite elástico presentaron valores más altos que los del poliestireno espumado y sin espumar. En cuanto a la tensión en el punto de ruptura el valor fue similar. Respecto del módulo de Young, su valor fue mayor al compararlo con el de poliestireno sin espumar, pero menor con respecto al del poliestireno espumado. Aunque esto sugiere en principio que la esponja de quitina podría no necesitar aditivos plastificantes, para mejorar dichas propiedades

mecánicas y asemejarlas a las del poliestireno, es necesario tomar en consideración la desviación estándar. Será importante en una siguiente fase de esta investigación tener más muestras con objeto de corroborar esto.

Para las muestras colocadas en soluciones de grenetina los resultados muestran que los valores para dichas propiedades se vieron disminuidos considerablemente. Siendo el módulo de Young la variable rescatable, únicamente para las concentraciones del 10 y 15%, que superan tanto al poliestireno sin espumar como al espumado. Las muestras al 5% no se consideran por ser solamente dos muestras las ensayadas.

Con la solución de 40% en sorbitol se tuvieron cuatro parámetros con valores equivalentes a las del poliestireno sin espumar siendo mayor para el módulo de Young y la deformación en la carga última. Comparado con el poliestireno espumado y la esponja sin plastificar, los valores fueron más bajos, con excepción del porcentaje de deformación y la tenacidad, donde fueron mayores. Para el límite elástico el valor fue cercano.

Con una concentración del 50% en sorbitol los resultados fueron más altos que en la esponja sin plastificar y que el poliestireno espumado y no espumado. Excluyendo que la deformación y la tenacidad fueron menores con respecto a la esponja sin plastificar, pero aún mayores que para las muestras de poliestireno.

La esponja de quitina tratada con solución al 60% de sorbitol proporcionó valores superiores con respecto al poliestireno espumado como al no espumado. En comparación con la esponja sin plastificar fue también superior y solamente en la tensión en la carga máxima y en la tenacidad se presentaron valores parecidos.

Las propiedades del poliestireno sin espumar y del poliestireno espumado presentaron valores muy similares. En los tres parámetros donde se notó un cambio fueron: el Módulo de Young, que presentó un valor de 10.59 MPa para el poliestireno sin espumar y de 20.12 MPa para el poliestireno espumado. El siguiente parámetro que mostró variación fue la tensión en la carga máxima con un promedio de 0.44MPa en el poliestireno sin espumar y de 0.60MPa para el espumado y por último la tenacidad que también varió un poco siendo ligeramente menor (0.0241 MPa) para el poliestireno sin espumar.

Los datos derivados de las pruebas mecánicas indican que estas seis propiedades mecánicas tienen valores similares para el poliestireno espumado y sin espumar, con una variación más notable en la tensión en la carga máxima y en el módulo de Young, mientras las demás propiedades no cambiaron apreciablemente.

Adicionalmente, se puede notar que, en lo referente a las propiedades mecánicas, se presentan mejores resultados en el material control espumado comparado con el poliestireno sin espumar.

4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con la finalidad de obtener un estudio más objetivo de los resultados obtenidos se presenta a continuación un análisis estadístico elaborado con la ayuda del software Statgraphics Plus versión 5.1 con el que se efectuó un análisis de varianza y un contraste múltiple de rango para cada una de las propiedades señaladas. Se identifican también los grupos homogéneos según la alineación de las X en columnas (Tablas 4.10 a 4.21).

Tabla 4.10: Andeva (ANOVA) para tensión en la carga máxima

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.37924	8	0.172406	3.20	0.0136
Intra grupos	1.23929	23	0.0538821		
Total (Corr.)	2.61853	31			

Tabla 4.11: Pruebas de múltiple rangos para tensión en la carga máxima

Método: 95.0 porcentaje de la diferencia mínima significativa, DMS (LSD en inglés)

Tratamiento	Casos	Media	Grupos homogéneos
SPQ-G5%	3	0.102	X
SPQ-G10%	2	0.1895	X
SPQ-G15%	4	0.389	XX
PSSE	4	0.44075	XXX
SPQ-S40%	4	0.458	XXX
PSE	4	0.60575	XX
SPQ-S50%	3	0.667667	XX
SPQ-S60%	4	0.7435	X
SPQ	4	0.76325	X

Tabla 4.12: Andeva (ANOVA) para tensión en el punto de ruptura

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.768752	8	0.096094	1.46	0.2239
Intra grupos	1.50889	23	0.0656039		
Total (Corr.)	2.27764	31			

Tabla 4.13: Pruebas de múltiple rangos para tensión en el punto de ruptura

Método: 95.0 porcentaje de la diferencia mínima significativa, DMS (LSD en inglés)

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SPQ-G5%	3	0.067666	X
SPQ-G10%	2	0.1785	XXX
SPQ-G15%	4	0.20725	XX
SPQ-S40%	4	0.3495	XXX
PSSE	4	0.42575	XXX
SPQ	4	0.45025	XXX
PSE	4	0.4615	XXX
SPQ-S50%	3	0.504	XX
SPQ-S60%	4	0.58725	X

Tabla 4.14: Andeva (ANOVA) para Módulo de Young

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1605.82	8	200.728	1.53	0.2029
Intra grupos	3027.2	23	131.617		
Total (Corr.)	4633.02	31			

Tabla 4.15: Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Young

Método: 95.0 porcentaje de la diferencia mínima significativa, DMS (*LSD* en inglés)

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
PSSE	4	10.5903	X
SPQ-S40%	4	11.18	X
SPQ-G5%	3	17.8443	XX
SPQ	4	18.086	XX
PSE	4	20.1222	XX
SPQ-G15%	4	23.824	XX
SPQ-S50%	3	26.248	XX
SPQ-G10%	2	30.2295	XX
SPQ-S60%	4	31.5453	X

Tabla 4.16: Andeva (ANOVA) para Deformación en la carga última

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	190.765	8	23.8456	2.30	0.0566
Intra grupos	238.593	23	10.3736		
Total (Corr.)	429.358	31			

Tabla 4.17: Pruebas de Múltiple Rangos para Deformación en la carga última

Método: 95.0 porcentaje de la diferencia mínima significativa, DMS (*LSD* en inglés)

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SPQ-G10%	2	2.399	X
SPQ-G15%	4	3.3325	X
SPQ-S50%	3	4.711	X
PSSE	4	4.766	X
PSE	4	4.833	X
SPQ-G5%	3	5.20067	X
SPQ	4	7.73375	XX
SPQ-S60%	4	7.959	XX
SPQ-S40%	4	10.758	X

Tabla 4.18: Andeva (ANOVA) para Tenacidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0248273	8	0.00310342	2.94	0.0203
Intra grupos	0.024267	23	0.00105509		
Total (Corr.)	0.0490944	31			

Tabla 4.19: Pruebas de Múltiple Rangos para Tenacidad

Método: 95.0 porcentaje de la diferencia mínima significativa, DMS (*LSD* en inglés)

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SPQ-G5%	3	0.00443333	X
SPQ-G10%	2	0.00455	XX
SPQ-G15%	4	0.0217	XX
PSSE	4	0.0241	XX
PSE	4	0.038775	XXX
SPQ-S50%	3	0.0433	XXXX
SPQ-S40%	4	0.057825	XXX
SPQ-S60%	4	0.078425	XX
SPQ	4	0.088275	X

Tabla 4.20: Andeva (ANOVA) para Límite elástico

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.30451	8	0.163064	3.08	0.0163
Intra grupos	1.21585	23	0.0528629		
Total (Corr.)	2.52036	31			

Tabla 4.21: Pruebas de Múltiple Rangos para Límite elástico

Método: 95.0 porcentaje de la diferencia mínima significativa, DMS (*LSD* en inglés)

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SPQ-G5%	3	0.05	X
SPQ-G15%	4	0.12	X
SPQ-G10%	2	0.15	X
SPQ-S40%	4	0.33525	XX
PSE	4	0.3475	XX
PSSE	4	0.365	XX
SPQ	4	0.5825	X
SPQ-S50%	3	0.623333	X
SPQ-S60%	4	0.63	X

4.8 DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS

Mediante un procedimiento de comparación para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se obtiene la Tabla 4.22. El asterisco que se encuentra al lado de los pares contrastados indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de la diferencia mínima significativa de Fisher, DMS (*LSD* en inglés) utilizado en investigaciones previas (Evelyn Ochoa, 2010).

El análisis estadístico indica que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas para el poliestireno espumado (PSE) comparado con las esponjas tratadas con grenetina al 15% y con las tratadas con sorbitol al 50 y 60%. Por otro lado, el poliestireno sin espumar (PSSE) no muestra ninguna diferencia estadísticamente significativa con las esponjas tratadas con grenetina, ni con sorbitol al 50%.

Tabla 4.22: Diferencias significativas

Contraste	Propiedad					
	Tensión en la carga máxima	Tensión en el punto de ruptura	Módulo de Young	Deformación en la carga última	Tenacidad	Límite elástico
PSE - PSSE						
PSE - SPQ					*	
PSE - SPQ-G10%	*					
PSE - SPQ-G15%						
PSE - SPQ-G5%	*					
PSE - SPQ-S40%				*		
PSE - SPQ-S50%						
PSE - SPQ-S60%						
PSSE - SPQ					*	
PSSE - SPQ-G10%						
PSSE - SPQ-G15%						
PSSE - SPQ-G5%						
PSSE - SPQ-S40%				*		
PSSE - SPQ-S50%						
PSSE - SPQ-S60%			*		*	
SPQ - SPQ-G10%	*				*	*
SPQ - SPQ-G15%	*				*	*
SPQ - SPQ-G5%	*				*	*
SPQ - SPQ-S40%						
SPQ - SPQ-S50%						
SPQ - SPQ-S60%						
SPQ-G10% - SPQ-G15%						
SPQ-G10% - SPQ-G5%						
SPQ-G10% - SPQ-S40%				*		
SPQ-G10% - SPQ-S50%	*					*
SPQ-G10% - SPQ-S60%	*				*	*
SPQ-G15% - SPQ-G5%						
SPQ-G15% - SPQ-S40%				*		
SPQ-G15% - SPQ-S50%						*
SPQ-G15% - SPQ-S60%	*	*			*	*
SPQ-G5% - SPQ-S40%				*	*	
SPQ-G5% - SPQ-S50%	*	*				*
SPQ-G5% - SPQ-S60%	*	*			*	*
SPQ-S40% - SPQ-S50%				*		
SPQ-S40% - SPQ-S60%			*			
SPQ-S50% - SPQ-S60%						

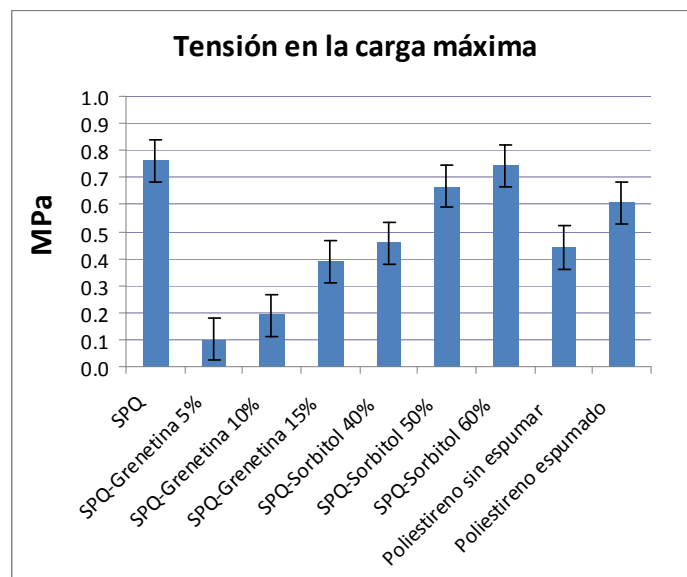
* indica una diferencia significativa

En donde:

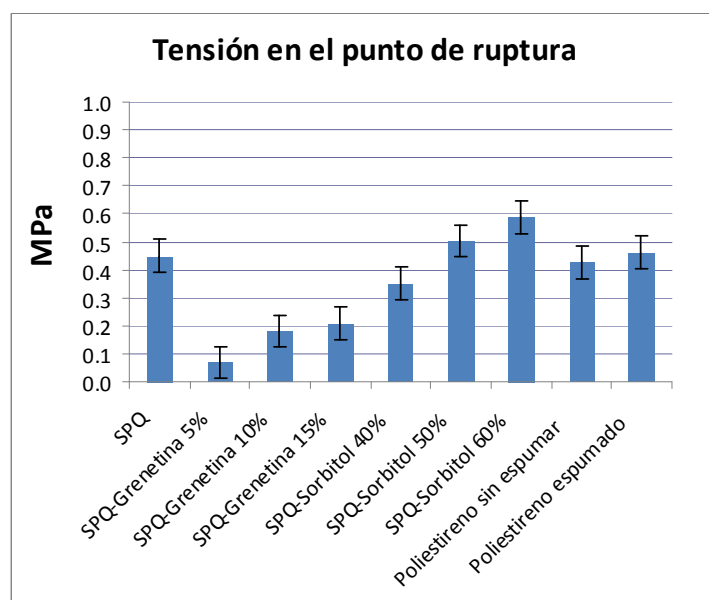
PSE: Poliestireno espumado; PSSE: Poliestireno sin espumar SPQ: Esponja de quitina; SPQ-G5%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 5%; SPQ-G10%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 10%; SPQ-G15%: Esponja de quitina tratada con solución de grenetina al 15%; SPQ-S40%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 40%; SPQ-S50%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 50%, SPQ-S60%: Esponja de quitina tratada con solución de sorbitol al 60%.

4.9 GRÁFICOS COMPARATIVOS

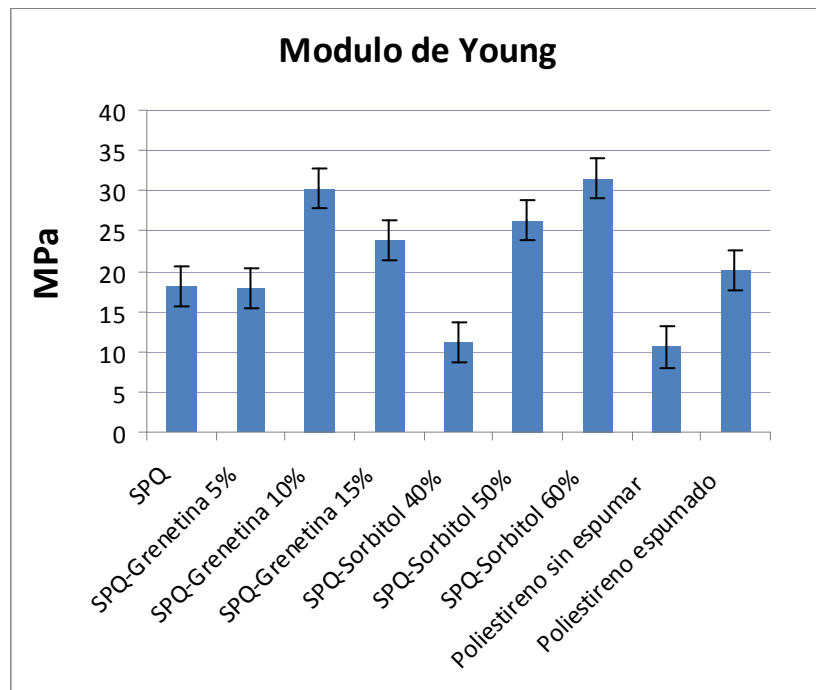
Aunque normalmente no es necesario poner datos tabulados y gráficas, estas últimas ofrecen una mejor perspectiva de los cambios que hubo en las propiedades mecánicas de las esponjas de quitina tratadas con los dos agentes plastificantes en estudio y su comparación con las características del poliestireno. A continuación se presentan algunos de estos datos en las Gráficas 4.1 a 4.6. En el Anexo A.3 se presentan los gráficos obtenidos del paquete Statgraphics.



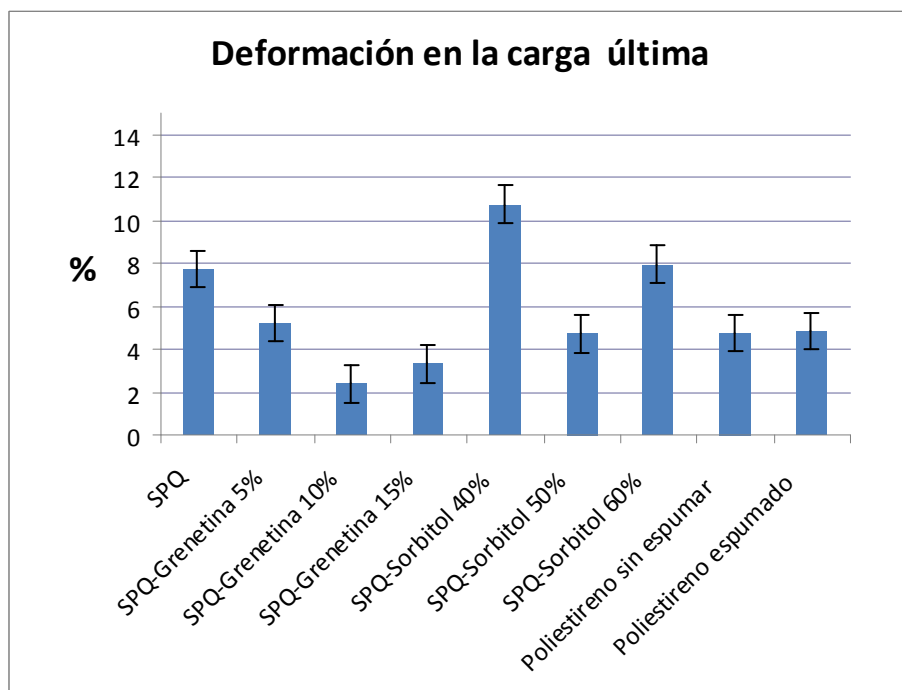
Gráfica 4.1: Comparativo de resultados promedio de tensión en la carga máxima para las muestras probadas (desviación estándar de cuatro datos para cada muestra)



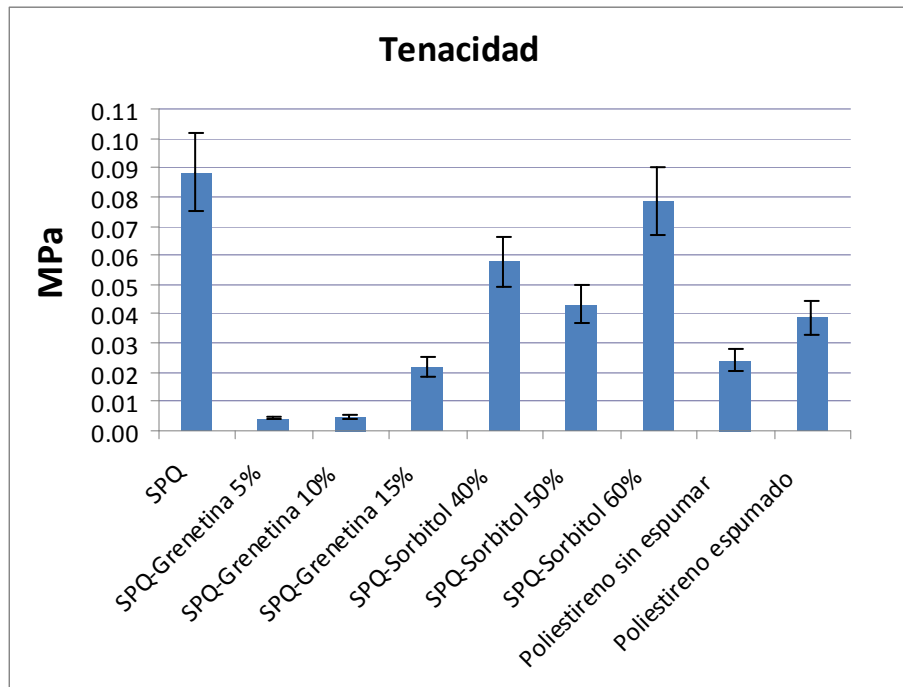
Gráfica 4.2: comparativo de resultados promedio de tensión en el punto de ruptura para las muestras probadas



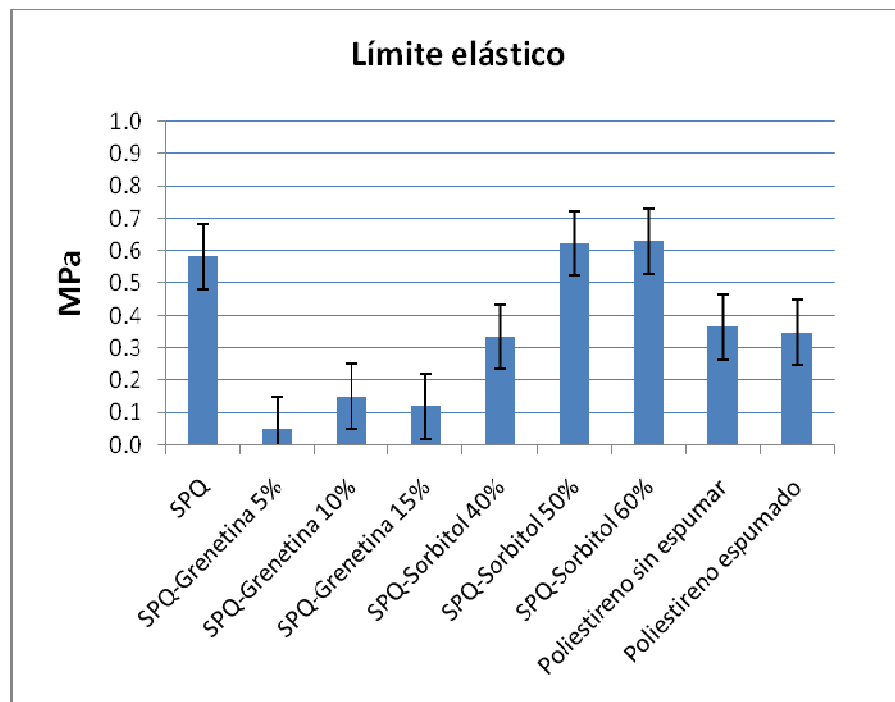
Gráfica 4.3: comparativo de resultados promedio del Módulo de Young para las muestras probadas



Gráfica 4.4: comparativo de resultados promedio de deformación en la carga última para las muestras probadas



Gráfica 4.5: comparativo de resultados promedio de tenacidad para las muestras probadas



Gráfica 4.6: comparativo de resultados promedio del límite elástico para las muestras probadas

Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

Lo que usted consigue al llegar a su destino nunca es tan importante como en lo que se convierte tratando de alcanzarlo.

Zig Ziglar

5.1 CONCLUSIONES

De la experimentación con plastificantes naturales en las esponjas de quitina, obtenidas a partir de cefalotórax de camarón utilizando una técnica de bajo impacto ambiental, para comparar propiedades mecánicas con las del poliestireno utilizado en envases de comida rápida, considerando los objetivos planteados, las conclusiones derivadas son:

- Del exoesqueleto limpio y seco de camarón alrededor de un 33% es considerada como materia disponible para la obtención de esponjas de quitina.
- Se corroboró que 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 extraer la quitina.
- Fue posible igualar el espesor de las esponjas de quitina con el de las muestras de poliestireno sin espumar.
- La longitud y ancho de las esponjas de quitina se vieron reducidas por la presencia de agua de los plastificantes que causó la hidratación de residuos de calcio aún presentes en las muestras durante la aplicación del plastificante. La reducción de estas dimensiones resultó ser consistentemente mayor para cada una de las muestras tratadas con plastificante a base de grenetina que con las tratadas con plastificante a base de sorbitol debido a la aplicación de calor.
- Las esponjas de quitina, tratadas con soluciones de grenetina al 5%, 10% y 15% poseen propiedades mecánicas con valores bajos con respecto a las del poliestireno espumado y sin espumar, siendo el Módulo de Young la única propiedad en la que el valor aumentó (17.84, 30.22, 23.82, respectivamente).
- Las muestras tratadas con soluciones de sorbitol al 50% y 60% presentaron valores iguales o mayores, para cada una de las seis propiedades mecánicas estudiadas, comparadas con las del poliestireno sin espumar y espumado. En este sentido puede decirse que aunque las muestras de quitina con 60% aumentan los valores de las propiedades mecánicas en cuestión, los valores obtenidos al 50% resultaron ser más próximos con los del poliestireno espumado y sin espumar.
- Del análisis estadístico se determina que las esponjas tratadas con grenetina al 15% y las tratadas con sorbitol al 50 y 60% no presentan con respecto al poliestireno espumado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).
- Las esponjas tratadas con grenetina y las tratadas con sorbitol al 50% no presentan ninguna diferencia estadísticamente significativa con respecto al poliestireno sin espumar en las seis propiedades mecánicas estudiadas.

5.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuras investigaciones derivadas de este trabajo en relación con este proyecto son las siguientes:

- Durante la elaboración del disolvente MAC-141© es indispensable tener un especial cuidado de las proporciones de los reactivos que se están utilizando, en especial del metanol ya que se vaporiza a temperatura ambiente.
- Con la finalidad de reducir el exceso de calcio presente en el disolvente MAC-141© es favorable una vez enfriado el disolvente, dejar precipitar la mayor cantidad posible de partículas y obtener así una solución transparente ya que de lo contrario se obtienen esponjas demasiado calcificadas e higroscópicas.
- Se debe optimizar el proceso de filtración con el equipo Millipore pues debido a la alta viscosidad de la solución de quitina se reduce la eficiencia de la separación, lo que afecta la recuperación de quitina. O bien, sería interesante experimentar con otra forma de separación, como podría ser la centrifugación.
- Durante el licuado del cefalotórax limpio de camarón es importante procurar que el tamaño de partícula resultante no sea demasiado pequeño, pues aunque en forma de harina la extracción de quitina es bastante buena, esto podría ocasionar residuos de CPD en la disolución QUIMAC y posteriormente en las probetas a evaluarse, lo cual afecta de manera negativa los resultados de las pruebas mecánicas. Por tanto, de seguir con esta recomendación, se reduce el rendimiento de quitina pero mejora la certeza de los resultados.
- Se propone incorporar el sorbitol o la grenetina en forma de polvo dentro del QUIMAC, obtenido de la filtración, para que una parte se incorpore a la esponja de quitina durante la precipitación de la misma. Este cambio probablemente disminuirá la reducción de dimensiones de la esponja durante la hidratación y el secado.

BIBLIOGRAFÍA

- Agulló, E., Albertengo, L., Pastor-de-Abram, A., Rodríguez, M.S., Valenzuela, F.** (2004). Quitina y quitosán: Obtención, caracterización y aplicaciones. Aplicaciones en alimentación y control ambiental. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. Lima, Perú.
- Anastas, P., Warner, J.** (1998). Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford University Press, New York, EE. UU.
- Arias, O., Mendoza, A.** (2010). Caracterización mecánica de un polímero de origen natural derivado de cefalotórax y exoesqueleto de camarón. Tesis de licenciatura, Facultad de Química. UNAM. México D.F.
- Askeland, R.D.** (2006). Ciencia e ingeniería de los materiales. Ed. Thomson. 4a ed. México, D.F. México.
- ASTM.** (2003). Volumen 08.01. Plastics (I): D256 - D3159. American Society for Testing and Materials. Washington, D.C. EE.UU.
- Austin, P.** (1977). Chitin solution. Patente No. US4059457, EE.UU.
- Báez-García, C.** (2003). Introducción a los plásticos. En Rodríguez-Tarango, J.A. (Coord.). Ingeniería y diseño. Envase y embalaje. Editorial IMPEE. Pp. 07-99. México D.F. México.
- Ban, W., Song, J., Argyropous, D.S., Lucia, LA.** (2006). Improving the physical and chemical functionality of starch-derived films with biopolymers; Journal of Applied Polymer Science. 100(3):2542-2548.
- Bárcenas-Ochoa, E.** (2010). Biopolímeros de cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Uso de aditivos químicos para modificar sus propiedades mecánicas. Tesis de licenciatura, Facultad de Química. UNAM. México D.F. México.
- Barone, J.R., Schmidt, W.F., Liebner, C.F.E.** (2005). Thermally processed keratin films; Journal of Applied Polymer Science. 97(4):1644-1651.
- Barrera-Rodríguez, S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C.** (2011). Extracción de quitina del cefalotórax de camarón para la elaboración de películas / *Chitin extraction from shrimp cephalothorax and exoskeleton for films preparation*. Vol. 10, Serie: TECNOLOGÍAS más LIMPIAS. Pub. AMCATH y Laboratorios 301, 302, 303 de Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. Facultad de Química, UNAM. ISBN 978-607-7807-08-0. 75 pags. México D.F. México. Disco compacto 50 ejemplares, 1ª Ed. (2006). Disco compacto 50 ejemplares, 2ª Ed. (2007). Disco compacto 50 ejemplares, 3ª Ed.

Bergo, P., Sobral, P.J.A. (2007). Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films. *Food Hydrocolloids*. 21(8):1285-1289.

Blackwell, J. (1988). Physical methods for the determination of chitin structure and conformation. *Methods in Enzymology*. 161:435-442.

Brine, C.J., Sandford, P.A., Zikakis, J.P. Eds. (1992). *Advances in chitin and chitosan*. Elsevier Science Publishers, Ltd, ISBN 1-85166-899-3. London & New York. Reino Unido y EE.UU.

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

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

CONAPESCA. (2009). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Culiacán, Sinaloa, México.

De-Almeida, A., Ruiz, J. A., López, N. I., Pettinari, M.J. (2004). Bioplásticos: Una alternativa ecológica. *Química Viva*. Bioplásticos: Una alternativa ecológica. *Química Viva*. 3(003):122-133.

DOF. 2009. Sistema general de unidades de medida, NOM-008-SCFI-2002. Jueves 24 de septiembre de 2009 DIARIO OFICIAL (Primera Sección). Poder Ejecutivo Federal. México, D.F. México.

Emmambux, M.N., Stading, M., Taylor, J.R.N. (2004). Sorghum kafirin film property modification with hydrolysable and condensed tannins. *Journal of Cereal Science*. 40(2):127-135.

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

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

Flores-Ortega, R.A., Barrera-Rodríguez, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C. (2004). Extracción ecológica de quitina y subproductos. Solicitud de Registro de Patente: Octubre 1, 2004. Facultad de Química, UNAM. IMPI. PA/a/2004/009517. Patente Núm. 264482. Otorgada el 12 de febrero de 2009. México D.F. México.

Flores, R., Barrera-Rodríguez, S., Shirai, K., Durán-de-Bazúa, C. (2007). Chitin sponge, extraction procedure from shrimp wastes using green chemistry. *J. Appl. Polym. Sci.*, 104:3909-3916

Flores, R., Barrera-Rodríguez, S., Shirai-Matsumoto, C.K., Durán-de-Bazúa, C. (2006). Obtención de esponjas de quitina a partir de cefalotórax de camarón para empaques. *AlimenPack*, 2(4):26-28.

García-Gómez, R.S., Casariego-Año, A., Flores-Ortega, R.A., Jiménez-Espinosa, M.S., Luna-Rodríguez, A., Ramírez-Cruz, M.A., Pedroza-Islas, R., Durán-de-Bazúa, M.C. (2004). Aprovechamiento integral de los residuos del camarón y otros crustáceos: Fuente de pigmentos y polímeros naturales. *Rev. IMIQ*, 45(3-4):5-13

Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. En: *Food Packaging and Preservation. Theory and Practice*. Ed. M. Mathlouthi, Elsevier Appl. Science Pub. Co., p. 371. Londres, Reino Unido.

Gutiérrez-Cabello, M., García-Gómez, R.S., Sánchez-Zamora, A., Suárez-Bautista, J., Gaxiola-Cortés, G., Chel-Guerrero, L., Durán-de-Bazúa, C. (2009). Aprovechamiento integral de especies acuícolas del sureste de México: Beneficios obtenidos por la pigmentación "natural" de su carne / Global reuse of Mexico's southeast aquacultural species: Benefits obtained by its flesh "natural" pigmentation. *Carnilac Industrial*. Edición Especial de la Industria Cárnica. 2009:32-36.

Hambleton, A., Debeaufort, F., Beney, L., Karbowiak, T., Voilley, A. (2008). Protection of active aroma, compound against moisture and oxygen by encapsulation in biopolymeric emulsion-based edible films. *Biomacromolecules*. 9(3):1058-1063.

Hansen, M.E., Llanes, A. (1994). Applications of crustacean wastes in Biotechnology. En: *Fisheries processing: Biotechnological applications*. A. M. Martin (editor). Chapman & Hall; pp. 174-205. Londres, Reino Unido.

Haugaard, V.K., Udsen, A.M., Mortensen, G., Hoegh, L., Petersen, K., Monahan, F. (2000). Food biopackaging: Biobased packaging materials for the food industry. Status and perspectives; Ed. Weber, C.J. KVL The Royal Veterinary and Agricultural University, Dinamarca; pp. 45-52. Copenhage, Dinamarca.

Hernández-Ávila, C. (2008). Biopolímeros como materiales de empaque en alimentos: Alternativas estructuras y aplicaciones. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química UNAM. México D.F. México.

IMPI. (2000). Enciclopedia del plástico. Tomo III. Ed. Instituto Mexicano del Plástico Industrial, S.C. México D.F. México.

Johnson, N., Normand, V., Clark, A., Amici, E. (2001). Interpenetrating network formation in agarose–sodium gellan gel composites. *Carbohydrate Polymer*. 46:383-390.

Kester, J.J., Fennema, O.R. (1986). Edible films and coatings: A review. *Food Technol.* 40(12):47-59.

Kim, Y.T., Hong, Y.S., Kimmel, R.A., Rho, J.H., Lee, C.H. (2007). New approach for characterization of gelatin biopolymer films using proton behavior determined by low field H-1 NMR Spectrometry; *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:10678-10684.

Lee, K., Shim, J., Lee, H. (2004). Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate Polymer*. 56:251-254.

Liu, C.C., Téllez-Garay, A.M., Castell-Pérez, M.E. (2004). Physical and mechanical properties of peanut protein films. *J. Food Science and Technology*. 37(7):731-738.

Manahan, S.E. 2007. *Introducción a la química ambiental*. Coedición Editorial Reverté y UNAM. Barcelona y México D.F. España y México.

McMurry, J. (2001). *Química orgánica*. 5a edición. Internacional Thomson Editores. México. D.F. México.

Maldonado, R.A. (2005). Recomendaciones para el diseño ecológico de envases de plástico para alimentos. Tesis de Maestría en Diseño Industrial. UNAM. Pp. 83-144. México, D.F. México.

Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., Selke, S.E. Eds. (2005). *Natural fibers, biopolymers, biocomposites*. Taylor and Francis Group, CRC. Pp. 1-4, 10-12, 833-834. New York, EE.UU.

Muzzarelli, R. (1977). *Chitin*. Pergamon Press, Londres, Reino Unido.

Kane, J.W. (2007). *Física*. 2a edición. Editorial Reverté. Barcelona. España.

ONU. (1987). *Informe de la Comisión Bruntland*. Organización de las Naciones Unidas. New York, EE.UU.

Patel, M., Narayan, R. (2005). How sustainable are biopolymers and biobased products? The hope, the doubts and the reality. En *Natural fibers, biopolymers, biocomposites*. Eds. Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T. Taylor and Francis Group, CRC. Pp. 833-834. New York, EE.UU.

Raabe, D., Al-Sawalmih, A., Yi, S., Fabritius, H. (2007). Preferred crystallographic texture of α -chitin as a microscopic and macroscopic design principle of the exoskeleton of the lobster *Homarus americanus*. *Acta Biomaterialia*. 3:882-895.

Reeves W., Chen, L. (2003). Regenerated carbohydrate foam composition. Patente No. US2003/0143388. Washington, D.C. EE.UU.

Rhim, J.W., Lee, J.H., Hong, S.I. (2006). Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. *J. Food Science and Technology*. 39(7):806-813.

Roberts, G. (1992). Chitin chemistry. MacMillan Press Ltd. Londres, Reino Unido.

Robertson, G.L. (2006). Food packaging. Principles and practice; 2a edición. CRC, Taylor and Francis Group. Pp. 1-19, 43-54, 286-291. New York, EE.UU.

Rodríguez-T., J.A. (2007). Manual de ingeniería y diseño de envase y embalaje; para la industria de los alimentos, químicos, farmacéuticos y cosméticos. 6a edición; Editorial IMPEE, México, D.F. México.

Sarabia-Bañuelos, P. (2011). Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: obtención de quitina y quitosana del cefalotórax de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría, UNAM. México, D.F. México.

Shahidi, F., Vidana, J., Jeon, Y. (1999). Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology*. 10:37-51.

Téllez-Mendoza, H. (1996). Estudio del efecto de diferentes plastificantes en plastisoles de PVC. Tesis profesional (I.Q.I.), ESIQIE-IPN. P. 78. México, D.F. México.

Tharanathan, R. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*. 14(3):71-78.

Vartiainen, J., Motion, R., Kulonen, H., Ratto, M., Skytta, E., Ahvenainen, R. (2004). Chitosan-coated paper: Effects of nisin and different acids on the antimicrobial activity. *Journal of Applied Polymer Science*. (3):986-993.

Walter-Pardavé, L. (2004). Envase y medio ambiente; Grupo Editorial Norma; pp. 1-7, 39-49, 51-67. Bogotá, Colombia.

Sitios en las redes internacionales (*World Wide Web International Networks, www, internet*)

ATANOR S.C.A. Dirección electrónica:

http://www.atanor.com.ar/esp/negocios_domesticos/quimicos/productos/sorbitol.php

Consultada el 15 de mayo del 2011.

ANIPAC. (2010). Dirección electrónica:
http://www.circuloverde.com.mx/es/cont/noticias_planeta/Complican_reciclaje_del_unicel.shtml. Consultada el 9 de abril del 2011.

Campaña de conciencia ambiental. Dirección electrónica:
<http://www.concienciaambiental.com.mx/ccca/unicel.htm>. Página realizada por locomotora productora visual // universidad autónoma metropolitana. Consultada el 3 de julio del 2011.

SAGARPA (2009). Estudio de la infraestructura logística para la exportación del camarón blanco a algunas ciudades de Estados Unidos y Canadá. Dirección electrónica:
http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2fagronegocios%2fDocuments%2fEstudios_promercado&FolderCTID=0x012000ED8226030FA451458B1CDD0788DEA384. Consultada el 3 de julio del 2011

Anexos



ANEXOS A.1 y A.2

INSUMOS NECESARIOS PARA REALIZAR ESTA EXPERIMENTACIÓN

MATERIA PRIMA

Cabezas frescas de camarón

REACTIVOS

Grenetina pura de origen animal

Sorbitol marca J.T. BAKER con 91% de pureza

Metanol marca J.T. BAKER con 99.93% de pureza

Agua destilada: Conductividad: 0.21; Resistividad: 4.3; Dureza: 0; PH: 5.2

Cloruro de calcio marca C-KO©

EQUIPOS Y MATERIALES

Equipo Instron 5500R modelo 1125

Estufa marca felisa© y modelo FE-291AD

Balanza analítica marca METTLER TOLEDO©, modelo AG245

Canastilla de calentamiento

Calibrador Vernier digital marca Caliper© de 30cm

Cámara de humidificación (fue sustituida con un desecador con agua)

Licuadora marca Osterizer© modelo 10-C de una velocidad

Incubadora marca felisa© modelo FE142 de 0 a 80⁰C

Equipo Millipore

Tamiz con abertura de malla de 149µm (numero 100, norma ASTM)

Refrigerante

Vasos de precipitados de 50 y 100ml marca Pyrex©

Espátulas marca Tramontina©

Mangueras de látex

Pinzas de tres dedos con nuez

Charolas de aluminio

Papel aluminio

Cajas petri de 100x10mm

Cronómetro digital

Probeta de 100ml

Matraz redondo de 500ml de fondo plano marca Pyrex©.

Varilla de vidrio

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Bata de algodón.

Guantes de nitrilo.

Lentes de protección.

SERVICIOS

Los servicios fueron los proporcionados en los laboratorios 301, 302 y 303 del conjunto E de Química Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM.

Agua potable

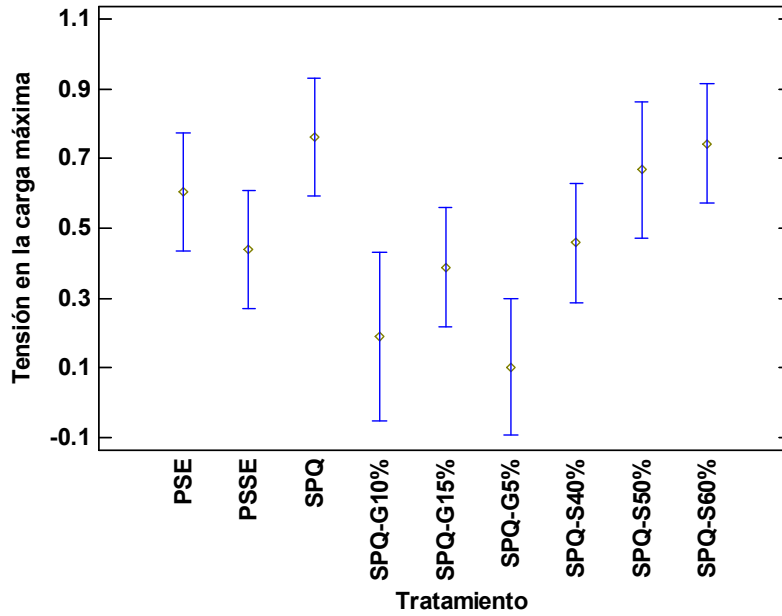
Electricidad

Red de vacío

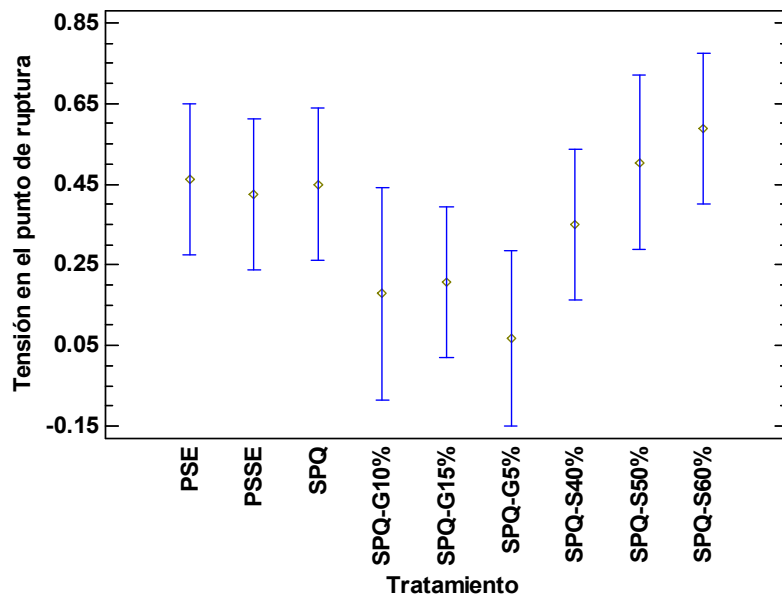
Anexo A.3

Datos obtenidos de la aplicación del paquete Statgraphics Plus 5.1: Gráficos de comparación de medias para cada una de las propiedades estudiadas

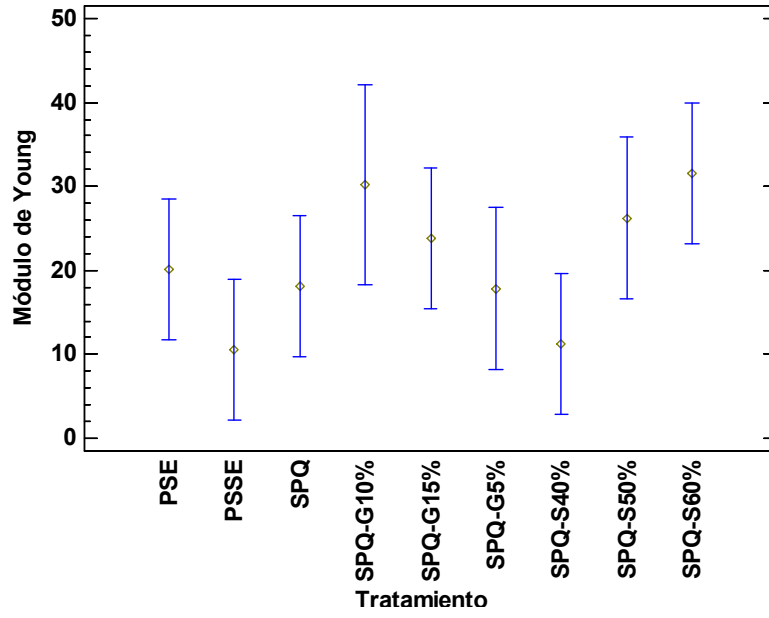
Medias y 95.0% de Fisher LSD



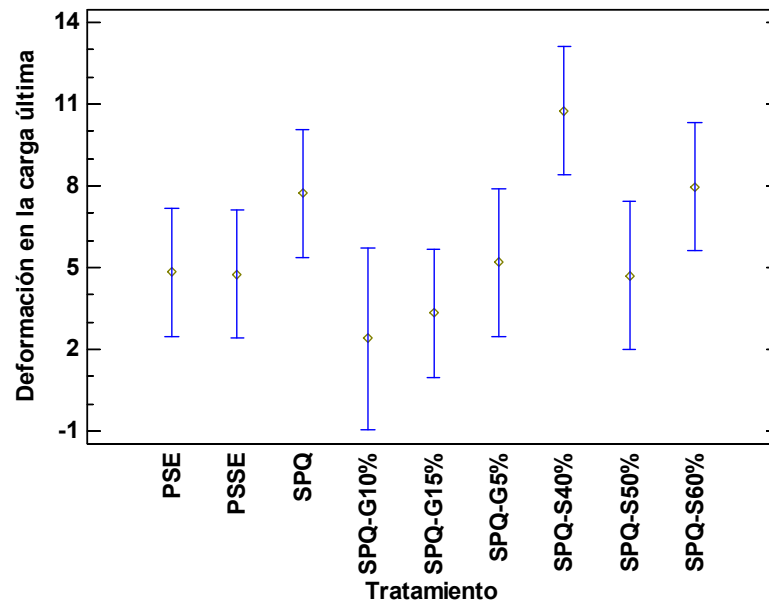
Medias y 95.0% de Fisher LSD



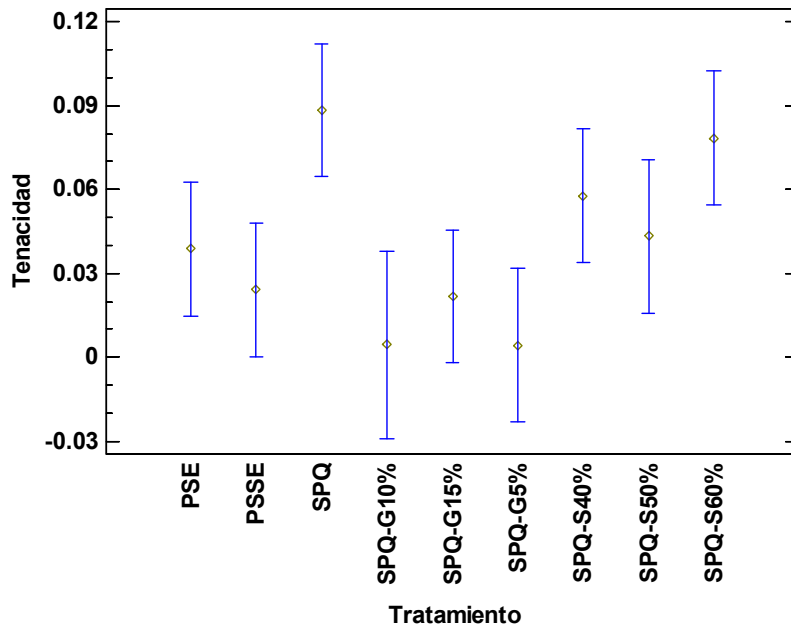
Medias y 95.0% de Fisher LSD



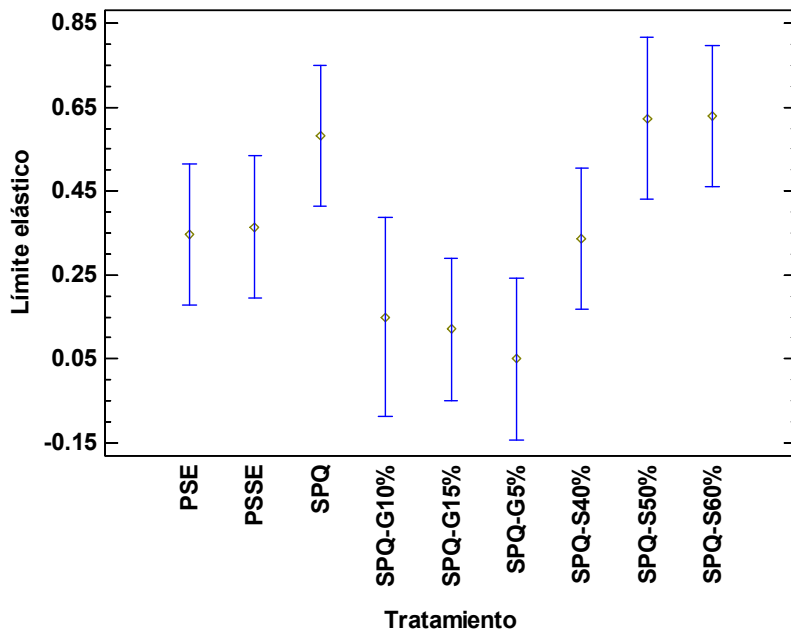
Medias y 95.0% de Fisher LSD



Medias y 95.0% de Fisher LSD



Medias y 95.0% de Fisher LSD



Anexo A.4

Acervo fotográfico de la experimentación



Fotografía 3.1: cefalotórax de camarón parcialmente desproteínizado



Fotografía 3.2: Obtención del disolvente MAC 141©



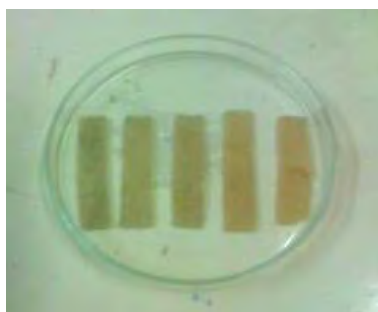
Fotografía 3.3: Obtención de la solución QUIMAC en equipo Millipore



Fotografía 3.4: Esponja de quitina obtenida después de humidificar la solución QUIMAC



Fotografía 3.5: Soluciones plastificantes empleadas a diferentes concentraciones



Fotografía 3.6: Aplicación de plastificante en las muestras de esponjas de quitina

Anexo A.5 Disposición controlada de residuos de esta investigación

