



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**BIOPOLÍMEROS DE CEFALOTÓRAX Y
EXOESQUELETO DE CAMARÓN. USO DE ADITIVOS
QUÍMICOS PARA MODIFICAR SUS PROPIEDADES
MECÁNICAS**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS
PRESENTA**

EVELYN MARIANA BÁRCENAS OCHOA



MÉXICO, D.F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

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

LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN:

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

ASESOR DEL TEMA:

Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

SUPERVISOR TÉCNICO:

M. en C. Rolando Salvador García Gómez

SUSTENTANTE:

Evelyn Mariana Bárcenas Ochoa

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Química y a la UNAM que me brindaron todos y cada uno de los conocimientos necesarios para el término de mis estudios así como experiencias que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional.

Al Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM que me facilitaron la realización de una parte muy importante en mi investigación.

A todas las personas que laboran en los Laboratorios 301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química, ya que sin su colaboración, este proyecto no se hubiera llevado a cabo.

Al maestro Rolando García, por la asesoría técnica recibida durante la realización de mi investigación, por su tiempo al realizar las revisiones, por sus correcciones y por ser la excelente persona que demostró ser.

A la Dra. Carmen Durán por mostrarme el camino a seguir, por sus consejos, por su tiempo al revisar todos mis trabajos, por su paciencia al corregirlos por enseñarme que nada es fácil si no se trabaja y más que nada por haberme brindado su confianza y su amistad. Gracias.

A mis compañeros Oscar y Anita que compartieron sin reservas todos sus conocimientos y su tiempo conmigo para poder realizar este proyecto.

**Esta investigación fue parcialmente financiada por el proyecto PAPIME
Clave: PE-101709, “Apoyo a la enseñanza experimental de las asignaturas terminales de las carreras que se imparten en la Facultad de Química de la UNAM”, de la
DGAPA de la UNAM**

DEDICATORIAS

A Lupita, mi mamá, por que gracias a ella estoy aquí por enseñarme todo lo que sé y por estar siempre conmigo, porque por ella soy lo que soy y porque a pesar de que nuestra vida no fue fácil mis logros son sus logros

A mi papá que me enseñó que lo que no mata solo te hace más fuerte...

A mis abuelitos Emma† y Fernando porque desde que recuerdo han estado conmigo, porque nada de esto hubiera sido posible sin su apoyo.

A mis hermanos Tatus y Gaby por el simple hecho de estar ahí siempre.

A mis mejores primos Lore y Bebo por compartir su vida conmigo

A Mario por dejarme ser parte de su vida y por brindarme su apoyo incondicional ;;;Eres lo máximo!!!

A Camila mi princesa por dejarme estar con ella 13 años maravillosos, aunque no nos alcanzó el tiempo, aún hay cosas que cumplir

A mis amigas Edith† y Chepina porque a pesar de estar lejos siempre están conmigo y por demostrarme que sin importar las circunstancias se debe ser feliz

A mis amigos Eunice, Gabriel, Gustavo, Araceli y Edith por confiar en mí y por permitirme compartir la vida con ustedes

A los que considero mis hijos Chelsea, Concha, Tasha, Molly y Yayo, por dejarme cuidar de ustedes, por brindarme su cariño y por siempre ver lo mejor de mí

A mis entrenadores Alex y Susana y a mi equipo de atletismo, a todos ustedes por que además de ser mi equipo son mis amigos y me apoyaron durante todo este proceso.

ÍNDICE GENERAL

	Página
GLOSARIO	1
RESUMEN	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos particulares	4
1.2 HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 CONTAMINACIÓN Y DETERIORO AMBIENTAL	6
2.1.1 Definición de contaminación	6
2.1.2 Contaminación ambiental	6
2.1.3 Contaminación del suelo, agua y aire	6
2.2 POLÍMEROS SINTÉTICOS	7
2.2.1 Clasificación de los polímeros	7
2.2.2 Obtención del Poliestireno	8
2.2.3 Riesgos del poliestireno	8
2.3 LOS ENVASES COMO PROBLEMA ECOLÓGICO	9
2.4 BIOPOLÍMEROS NATURALES USADOS EN EMPAQUES BIODEGRADABLES	10
2.5 BIOESPONJAS	11
2.6 BIODEGRADABILIDAD	11
2.6.1. Biodegradabilidad de plásticos	11
2.6.2 Plásticos biodegradables o biopolímeros	12
2.7 MÉXICO COMO PRODUCTOR DE MATERIAS PRIMAS PARA ELABORAR BIOPOLÍMEROS	13
2.7.1 Residuos orgánicos como biopolímeros	14
2.8 QUITINA COMO MATERIA PRIMA	15

2.8.1	Descubrimiento de la quitina	15
2.8.2	Características de la quitina	15
2.8.3	Usos alternos de la quitina	16
2.9	ADITIVOS	18
2.9.1	Clasificación de los aditivos alimentarios en función de su acción	18
2.9.2	Aditivos utilizados en este proyecto	19
2.10	PRUEBAS MECÁNICAS	21
2.10.1	Tensión en la carga máxima	22
2.10.2	Tensión en el punto de ruptura	22
2.10.3	Módulo de Young	22
2.10.4	Porcentaje de elongación de ruptura o porcentaje de deformación	23
2.10.5	Tenacidad	23
2.10.6	Límite elástico	24
CAPÍTULO III		25
METODOLOGÍA		25
3.1	Obtención de la materia prima	25
3.2	Limpieza	25
3.3	Separación de la quitina	25
3.4	Disolución de quitina	25
3.5	Formación de esponjas de quitina	26
3.6	Inclusión de aditivo	26
3.7	Pruebas mecánicas	28
3.8	Comparación entre un recipiente de esponja de quitina y un recipiente de poliestireno espumado	28
3.9	Diagrama de obtención de harina de cefalotórax de camarón	29
3.10	Diagrama de bloques de obtención de esponjas acondicionadas de cefalotórax y exoesqueleto de camarón	29
3.11	Análisis estadístico	31
CAPÍTULO IV		32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		32
4.1	Porcentaje de recuperación de harina obtenida a partir de exoesqueletos frescos de camarón.	32
4.2	Elaboración de esponjas de quitina utilizando los tres agentes aditivos	33

4.3	Resultados de las pruebas mecánicas a las probetas de quitina y poliestireno (control)	35
4.3.1	Tensión en la carga máxima (MPa)	35
4.3.2	Tensión en el punto de ruptura (MPa)	38
4.3.3	Módulo de Young (MPa)	40
4.3.4	Porcentaje de deformación (%)	42
4.3.5	Tenacidad	44
4.3.6	Límite elástico	47
4.4	Discusión final de resultados	52
CAPÍTULO V		55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
5.1	Conclusiones	55
5.2	Recomendaciones y estudios y a futuro	56
ÁPENDICE		57
A.1	Medición de anchura y espesor para la realización de las pruebas mecánicas	57
A.2	Valores de las propiedades mecánicas evaluadas de las esponjas a condicionadas	59
A.3	Gráficos obtenidos a partir del equipo Instron 5500R	62
BIBLIOGRAFÍA		73

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Proporción de los agentes plastificantes en relación con la masa de las probetas de esponja de quitina.	27
Tabla 2	Obtención de harina de cefalotórax	32
Tabla 3	Obtención de esponjas de quitina utilizando como aditivo propilenglicol	34
Tabla 4	Obtención de esponjas de quitina utilizando como aditivo sorbitol	34
Tabla 5	Obtención de esponjas de quitina utilizando como aditivo polietilenglicol	35
Tabla 6	Obtención de esponjas de quitina para las pruebas mecánicas	35
Tabla 7	Análisis de varianza para la prueba de tensión en la carga máxima	37
Tabla 8	Contraste múltiple de rango para la prueba de tensión en la carga máxima	37
Tabla 9	Análisis de varianza para la prueba de tensión en el punto de ruptura	39
Tabla 10	Contraste múltiple de rango para la prueba de tensión en el punto de ruptura	39
Tabla 11	Análisis de varianza para la prueba del módulo de Young	41
Tabla 12	Contraste múltiple de rango para la prueba del módulo de Young	41
Tabla 13	Análisis de varianza para la prueba de porcentaje de deformación	43
Tabla 14	Contraste múltiple de rango para la prueba de porcentaje de deformación	43
Tabla 15	Análisis de varianza para la prueba de tenacidad	45
Tabla 16	Contraste múltiple de rango para la prueba de tenacidad	46
Tabla 17	Análisis de varianza para la prueba de límite elástico	47
Tabla 18	Contraste múltiple de rango para la prueba de límite elástico	48
Tabla 19	Comparación de propiedades mecánicas de las probetas acondicionadas, poliestireno puro y espumado y probetas de quitina sin acondicionar	49
Tabla 20	Resumen de resultados estadísticos para agentes aditivos	50
Tabla 21	Mediciones de anchura y espesor a las esponjas acondicionadas con propilenglicol	57
Tabla 22	Mediciones de anchura y espesor a las esponjas acondicionadas con sorbitol	58
Tabla 23	Mediciones de anchura y espesor a las esponjas acondicionadas con polietilenglicol	58
Tabla 24	Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de las esponjas acondicionadas con propilenglicol	59
Tabla 25	Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de las esponjas acondicionadas con sorbitol	60
Tabla 26	Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de las esponjas acondicionadas con polietilenglicol	61

ÍNDICE DE GRAFICOS

		Página
Grafico 1	Diferencia de medias en un intervalo de confianza de 95%	38
Grafico 2	Diferencia de medias para la prueba de tensión en el punto de ruptura en un intervalo de confianza de 95%	40
Gráfico 3	Diferencia de medias para la prueba del módulo de Young en un intervalo de confianza de 95%	42
Grafico 4	Diferencia de medias para la prueba del módulo de Young en un intervalo de confianza de 95%	44
Gráfico 5	Diferencia de medias para la prueba de tenacidad en un intervalo de confianza de 95%	46
Gráfico 6	Diferencia de medias para la prueba de límite elástico en un intervalo de confianza de 95%	48
Gráfico 7	Probetas 1, 2 y 3 elaboradas con poliestireno	62
Gráfico 8	Probetas 4, 5 y 6 elaboradas con poliestireno	62
Gráfico 9	Probetas 7, 8 y 9 elaboradas con poliestireno	63
Gráfico 10	Probetas 11, 12 y 13 elaboradas con poliestireno	63
Gráfico 11	Probetas 14, 15 y 16 elaboradas con poliestireno	64
Gráfico 12	Probetas 1, 2 y 3 acondicionadas con propilénglicol	64
Gráfico 13	Probetas 4, 5 y 6 acondicionadas con propilénglicol	65
Gráfico 14	Probeta 7 acondicionadas con propilénglicol	65
Gráfico 15	Probetas 8, 9 y 10 acondicionadas con propilenglicol.	66
Gráfico 16	Probetas 11, 12 y 13 acondicionadas con propilenglicol.	66
Gráfico 17	Probetas 14, 15 y 16 acondicionadas con propilénglicol	67
Gráfico 18	Probetas 1, 2 y 3 acondicionadas con sorbitol	67
Gráfico 19	Probetas 4, 5 y 6 acondicionadas con sorbitol	68
Gráfico 20	Probetas 7, 8 y 9 acondicionadas con sorbitol	68
Gráfico 21	Probetas 10, 11 y 12 acondicionadas con sorbitol	69
Gráfico 22	Probetas 13, 14 y 15 acondicionadas con sorbitol	69
Gráfico 23	Probetas 1, 2 y 3 acondicionadas con polietilenglicol	70
Gráfico 24	Probetas 4 y 5 acondicionadas con polietilenglicol	70
Gráfico 25	Probetas 6, 7 y 8 acondicionadas con polietilenglicol	71
Gráfico 26	Probetas 9, 10 y 11 acondicionadas con polietilenglicol	71
Gráfico 27	Probetas 12, 13 y 14 acondicionadas con polietilenglicol	72

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Agentes aditivos empleados	26
Fotografía 2	Adición de agentes aditivos	27
Fotografía 3	Probetas de esponja de quitina acondicionadas con aditivos.	28

RESUMEN

En México, el camarón es la tercera especie en masa, pero la primera en valor a nivel nacional, al captar el 44% del valor de la producción pesquera nacional. El 70.5% de la producción nacional del camarón proviene de las granjas acuícolas y el 29.5% restante es capturado de manera artesanal o silvestre. Del camarón es aprovechada la carne abdominal, en tanto que la cabeza, cola y caparazón (exoesqueleto y cefalotórax) son catalogados como desechos. Sin embargo, en vez de ser confinados en basureros municipales, los residuos de este crustáceo pueden ser de una mayor utilidad después de ser procesados para obtener quitina y quitosana, los cuales son compuestos útiles para varias industrias como las procesadoras de alimentos y las farmacéuticas, entre otras. Tomando en consideración que uno de los principales compuestos del desecho de camarón es la quitina, se planteó en este proyecto la posibilidad de obtenerla mediante metodologías más limpias (en vez de las tradicionales, las cuales emplean para su extracción HCl y NaOH), con la finalidad de desarrollar espumas biodegradables. Al adicionarles a estas espumas, algún agente aditivo como el sorbitol, el polietilenglicol o el propilenglicol les conferirán propiedades que las hagan asemejarse a sus contrapartes hechas con polímeros obtenidos de manera sintética como el poliestireno, las cuales no son degradables en tiempos razonables. Para ello, se obtuvieron muestras de exoesqueleto y cefalotórax de camarón para extraer quitina. Una vez adquiridas las muestras de cefalotórax, se sometieron a un lavado con agua de la llave y se licuaron para eliminar algunos compuestos como proteínas, grasas y pigmentos; la pasta obtenida de la licuefacción, se colocó en una estufa a 60°C durante 18 horas para obtener harina de exoesqueleto parcialmente desproteinizado (EPD). Como segunda etapa, se realizó la separación de quitina de la harina de EPD utilizando como disolvente la mezcla MAC-141 (por sus siglas en español Metanol, Agua y Cloruro de calcio, en relación molar 1:4:1) y se incubó la mezcla formada durante 48 horas a 25°C. En la tercera etapa, se obtuvo el QUIMAC (quitina en solución como producto de la incubación y la filtración de la mezcla) y se agitó para formar una espuma de quitina que se colocó en una cámara de humificación con un porcentaje de humedad mayor a 95% durante 48 horas. Una vez obtenidas las esponjas, se secaron y se acondicionaron con tres diferentes agentes (polietilenglicol acuoso al 10%, sorbitol acuoso al 70%, propilenglicol acuoso a una concentración desconocida) con el objetivo de modificar sus propiedades y hacerlas lo más semejante posible a materiales sintéticos comerciales como el poliestireno espumado. Para corroborar el cambio provocado por cada aditivo en las propiedades mecánicas de las probetas de quitina, se usaron las siguientes pruebas mecánicas: Tensión en la carga máxima (MPa), tensión en el punto de ruptura (MPa), módulo de Young (MPa), porcentaje de deformación (%) y la tenacidad. De los datos experimentales obtenidos se pudo calcular una sexta propiedad mecánica, el límite elástico, comparándose con una probeta con poliestireno espumado como referencia. Se encontró que, para el sorbitol las pruebas de tensión de ruptura, % de deformación, módulo de Young y límite elástico, las esponjas de quitina no fueron significativamente diferentes a las del polímero sintético ($p < 0.05$), mientras que para la prueba de tenacidad fue significativamente diferente. Al someter al análisis estadístico los resultados con los otros dos agentes (polietilenglicol y propilenglicol) y compararlos con la referencia de la probeta de poliestireno, en algunas de las pruebas fueron significativamente diferentes y en otras iguales a la referencia. Se concluye que el aditivo de sorbitol acuoso al 70% es el mejor aditivo para obtener probetas similares al poliestireno espumado usado como control.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Existen diversas definiciones que tratan de describir el término contaminación. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que existe contaminación cuando en la composición ya sea del suelo, del aire o del agua aparecen una o varias sustancias extrañas, en tales cantidades y durante tales periodos, que pueden resultar nocivas para el hombre, los animales, las plantas o la Tierra. Uno de los principales causantes de la contaminación del suelo se encuentra en los polímeros sintéticos tales como el poliuretano y el poliestireno. Estos polímeros al ser elaborados a partir de materiales sintéticos no son biodegradables en tiempos razonables, es decir, tardan de cien a quinientos años en desaparecer de la Tierra (McMurry, 2001).

Un informe de la OMS indica que una buena parte de las enfermedades que aquejan a los niños en el mundo se debe a la contaminación del aire, del agua y del suelo, a las sustancias tóxicas en los alimentos y otros peligros procedentes del medio ambiente. Debido a los altos niveles de contaminación que los polímeros sintéticos representan, se planteó la posibilidad de crear un polímero elaborado a partir de materia orgánica natural como materia prima (quitina). México se considera dentro del grupo de los diez países con mayor producción de camarón a nivel mundial (CONAPESCA, 2005). El camarón que es capturado no se utiliza del todo. Del camarón entero se aprovecha alrededor del 50% ya que el resto se considera material de desperdicio (cabeza-tórax y exoesqueleto). El material de desperdicio es regresado al mar o desechado en tiraderos. Este material al no ser tratado de manera ecológica genera una gran contaminación, ya que comienza a descomponerse en cualquiera que sea su destino. Uno de los principales componentes de ese biomaterial, considerado como un desperdicio, es la quitina, un polímero natural y el segundo polímero más abundante en la naturaleza, sólo después de la celulosa (Cañipa y col, 1994).

Dado el contexto anterior, en esta investigación se propuso la utilización de la quitina obtenida a partir de residuos de camarón utilizando tecnologías más limpias y que no dañen tanto el ambiente como las tradicionales en donde se utiliza HCl y NaOH (Flores, 2008), para la elaboración de empaques biodegradables que sean lo más semejante a los polímeros

sintéticos como el poliuretano y el poliestireno. Para esto se propuso la adición de tres diferentes agentes aditivos (polietilenglicol, propilenglicol y sorbitol).

Estos agentes no modifican el periodo de biodegradabilidad de los polímeros elaborados a base de quitina que, según reportes, es de 2 semanas al contacto con la basura en condiciones normales de desecho (Barrera-Rodríguez y col., 2007). En algunos casos, como con el sorbitol, los aditivos pueden acelerar este proceso de degradación (Arias y Mendoza, 2010). A continuación se mencionarán los objetivos particulares de la investigación englobados dentro de un objetivo general.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Desarrollar esponjas de quitina a escala de laboratorio similares mecánicamente a sus contrapartes de poliestireno espumado a partir del cefalotórax y exoesqueletos de camarón mediante el uso de aditivos químicos.

1.1.2 Objetivos particulares

- Desarrollar un diseño experimental con tres agentes plastificantes, polietilenglicol acuoso al 10%, sorbitol acuoso al 70%, propilenglicol acuoso, con el objetivo de obtener esponjas con una textura comparable a la del poliestireno espumado
- Estudiar las propiedades mecánicas, tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, módulo de Young, porcentaje de deformación, tenacidad y límite elástico de las esponjas de quitina adicionadas con los tres agentes aditivos incorporados al biopolímero comparándolas con un control de poliestireno espumado
- Analizar estadísticamente las diferencias existentes entre las propiedades de las diferentes probetas seleccionando el mejor plastificante que asemeje las propiedades mecánicas de las muestras de biopolímero con las muestras de poliestireno espumado.

1.2 HIPÓTESIS

La adición de un agente aditivo a las esponjas de quitina les da propiedades mecánicas que las hace similares al poliestireno espumado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CONTAMINACIÓN Y DETERIORO AMBIENTAL

2.1.1 Definición de contaminación

La palabra contaminación deriva del verbo latino “*contaminare*” que quiere decir contaminar, manchar, volver impuro; y el sufijo *-ción* (del latín *-tio*), que indica el resultado o el efecto de la acción del verbo. En la actualidad la contaminación se define como la presencia en el medio ambiente, de materia o energía producidos de manera natural o producidos por la acción antropogénica, en cantidades, concentraciones o durante un tiempo suficiente para perjudicar, causar molestias, amenazar la salud o la vida de las personas, animales o plantas; dañar los bienes y obstaculizar el disfrute razonable de la naturaleza (SSA, 1974).

2.1.2 Contaminación ambiental

La contaminación ambiental puede ser de origen natural como la erupción volcánica o la presencia de polen en la atmósfera o artificial, como los derrames de petróleo en el mar o las emisiones de SO₂ a la atmósfera. Contaminante es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, que al incorporarse al aire, agua o tierra pueden alterar o modificar sus características naturales o las del ambiente. La contaminación ambiental provoca, de inmediato, el deterioro del medio, que se caracteriza por el empobrecimiento o agotamiento de los recursos, por la perturbación del medio físico, que se manifiesta, entre otras formas, en la modificación de la temperatura (SSA, 1974).

2.1.3 Contaminación del suelo, agua y aire

Los principales contaminantes de aire son las partículas sólidas o polvos, como el dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y los hidrocarburos producidos por las plantas o refinerías durante su actividad. Las fuentes de contaminación del agua son muy numerosas, siendo las más importantes las descargas de aguas negras domésticas y las descargas de plantas industriales, así como los residuos de fertilizantes, plaguicidas y

alimento y los desperdicios de alimento humano y materiales no biodegradables. La contaminación del suelo puede producirse por contaminantes de tipo orgánico e inorgánico, de los cuales algunos son capaces de ser degradados por los diversos organismos presentes en el planeta como las bacterias pero otros permanecen por largo tiempo si los organismos degradadores no pueden metabolizarlos como ocurre con los polímeros de origen antropogénico (Schmid, 2002).

2.2 POLÍMEROS SINTÉTICOS

Un polímero es una molécula grande, construida por medio de enlaces repetitivos de muchas unidades más pequeñas o monómeros.

2.2.1 Clasificación de los polímeros

Los polímeros sintéticos se clasifican según su método de síntesis en: crecimiento en cadena (o polímeros de adición) o crecimiento en pasos (o polímeros de condensación). Los polímeros de crecimiento en cadena son producidos por la polimerización de una reacción en cadena en la cual un iniciador se adiciona a un doble enlace carbono-carbono de un sustrato insaturado (un monómero de vinilo) y forma un intermediario reactivo. Este intermediario reacciona con una segunda molécula del monómero y da un nuevo intermediario, el cual reacciona con una tercera unidad del monómero, etc. El iniciador puede ser un radical, como en la polimerización del etileno, un ácido (sustancia que en disolución incrementa la concentración de iones hidrógeno) como en la polimerización del isobutileno o un anión. La polimerización por radicales es la más común y puede efectuarse prácticamente con cualquier monómero vinílico. En contraste, la polimerización catalizada por un ácido (catiónica) solo es efectiva con monómero de vinilo que contengan un grupo donador de electrones (*GDE*; *EDG*, por sus siglas en inglés) capaz de estabilizar el catión intermediario en la cadena. Los monómeros de vinilo con grupos sustituyentes atractores de electrones *GAE* (*EWG*, por sus siglas en inglés) se pueden polimerizar con catalizadores aniónicos. El paso clave en la cadena es la adición nucleofílica de un anión al monómero insaturado por medio de una reacción de Michael (McMurry, 2001).

2.2.2 Obtención del poliestireno

El poliestireno espumado, mejor conocido como *unicel*, es obtenido a partir de la reacción de polimerización de Michael en la que se requiere un grupo atractor de electrones y un catalizador aniónico. En la reacción de polimerización del poliestireno (*unicel*), el grupo atrayente de electrones es el que forma el doble enlace (-CH=CH_2) y el catalizador aniónico es el N-butil-litio ($\text{:Bu}^- \text{Li}^+$) como se muestra en la Figura 1.

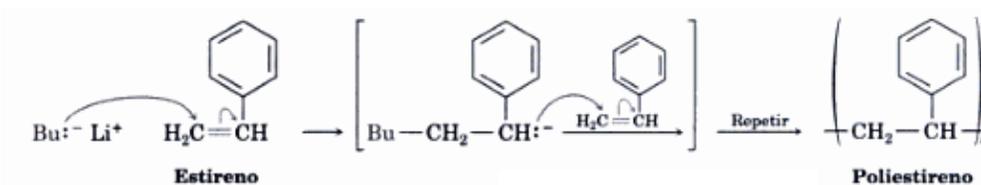


Figura 1. Polimerización del poliestireno (*unicel*) (McMurry, 2001)

2.2.3 Riesgos del poliestireno

El poliestireno es una espuma que se obtiene mediante polimerización del estireno como se mencionó anteriormente. El estireno es un compuesto orgánico volátil y tóxico que es considerado como una sustancia potencialmente cancerígena. El poliestireno espumado no sólo utiliza sustancias cancerígenas para su producción, como el benceno, sino que también necesita cloro-fluoro-carburos (CFC) e hidro-cloro-fluoro-carburos (HCFC). Estas sustancias son moléculas muy estables que pueden durar hasta 150 años en la atmósfera. Cuando llegan a la estratosfera, donde se tiene una alta cantidad de radiación ultravioleta, una sola molécula de cloro de estos compuestos puede destruir hasta 100,000 moléculas de ozono. Los CFC, HCFC y HFC son gases que contribuyen enormemente al calentamiento planetario (Giusti, 1994).

Uno de los peligros más grave es la que se conoce como migración, que ocurre en diferentes medidas con todos los plásticos. La migración implica la liberación de sustancias químicas del plástico al alimento, proceso que ocurre lentamente, pero se acelera si se calienta el plástico (en el microondas por ejemplo). Una de las consecuencias más graves del fenómeno de la migración, señala la Federación de Asociaciones de Consumidores y

Usuarios de Andalucía, España (FACUA), es la contaminación hormonal, por la que muchos aditivos de los plásticos son capaces de funcionar en el organismo como hormonas, potenciando su efecto o bloqueando su acción. Así, este proceso puede desencadenar alteraciones en el desarrollo sexual, feminización y masculinización, infertilidad, insuficiencias hormonales o cáncer (Watson y Meah, 1995).

2.3 LOS ENVASES COMO PROBLEMA ECOLÓGICO

El plástico es un material casi indispensable en la vida cotidiana. Se utiliza para mantener cálidos los hogares, hacer más ligeros los carros y las computadoras, conservar más frescos los alimentos y asegurar la inocuidad de las medicinas. También es usado para aprovechar eficiente y limpiamente la energía eólica y la solar. Pero este útil material también tiene su parte negativa. Hace 30 años el planeta viene acumulando 1,000 millones de objetos de plástico. Cada objeto de este material dura hasta 500 años en desintegrarse por lo cual su impacto ya es evidente incluso en el fondo de los océanos.

La contaminación por plástico es una de las más significativas en la actualidad. Se calcula que se producen cerca de 150 bolsas de plástico por persona cada año. La fabricación de vidrio también exige un alto consumo de energía y, aunque este material está hecho a partir de materias primas abundantes, tampoco es biodegradable, por lo que tiene un fuerte impacto ambiental. En el caso de los envases metálicos, se sabe que las populares latas de refrescos representan del 6 al 9 por ciento de la basura que se produce en todo el mundo; como es evidente, su recuperación es escasa para posteriores usos y casi no son biodegradables, por lo que la única salida ecológicamente razonable para las latas, es el reciclaje. Así, varios países han tenido que reconocer la necesidad de proponer restricciones ambientales basadas en una verdadera política de control de residuos no degradables mediante el principio de las “tres ‘R’”: 1) Reducir la cantidad de residuos de envases contaminantes; 2) Reutilizar el material lo más que sea posible y 3) Reciclarlo para producir nuevos materiales (Demuner y Verdalet, 2004).

2.4 BIOPOLÍMEROS NATURALES USADOS EN EMPAQUES BIODEGRADABLES

Con el propósito de atenuar los problemas de la contaminación, se han realizado numerosos estudios para valorar algunos materiales alternativos. En ese sentido, surgió el concepto de plástico biodegradable asociado al uso de materias primas renovables que ofrecen un buen control en el ambiente después de diversos usos. Los biopolímeros, como también se llama a esas materias primas, son macromoléculas sintetizadas por procesos biológicos o por vía química a partir de monómeros naturales o idénticos a los naturales (Demuner y Verdalet, 2004). La prioridad principal de los empaques es la preservación y protección de todo tipo de productos, siendo los alimentos y las materias primas el campo de mayor prioridad. La protección se hace a través de los empaques, los cuales generalmente se elaboran a partir de polímeros sintéticos. No obstante, el uso indiscriminado de empaques sintéticos ha generado serios problemas ecológicos contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad, lo que ha impulsado a la búsqueda de biopolímeros naturales. El aprovechar los recursos naturales como fuente de conservación y reciclaje se ha convertido en una excelente opción e innovación en el desarrollo de nuevos productos biodegradables. Su total biodegradación en productos como CO₂, agua y posteriormente en abono orgánico es una gran ventaja frente a los sintéticos (Bastioli, 2001; Villada, H y col,2007).

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

Los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes según su origen: las de origen animal (colágeno/gelatina), las de origen marino (quitina/quitosana), las de origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y las de origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA) (Tharanathan, 2003).

2.5 BIOESPONJAS

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

La quitina tiene el potencial para formar una esponja estable altamente insoluble en agua en condiciones ambientales, pero biodegradable cuando se encuentra en condiciones apropiadas, como en un sitio de disposición controlada de basura (Barrera-Rodríguez y col., 2007; Flores, 2004).

2.6 BIODEGRADABILIDAD

El término biodegradabilidad se refiere a la acción de los microorganismos presentes en el ambiente de degradar una porción o incluso la totalidad de algún organismo o material, bajo las condiciones ambientales adecuadas y sin producir subproductos tóxicos. Los productos finales de la degradación de la porción biodegradable del material son el dióxido de carbono y el agua.

2.6.1. Biodegradabilidad de plásticos

Los desperdicios plásticos contribuyen con aproximadamente el 10% de los desperdicios sólidos, sobre una base volumétrica contribuyen de dos a tres veces su masa. Una tercera parte de la producción de plásticos es destinada a productos desechables como botellas, empaques y bolsas para basura. Con el creciente uso de los plásticos, y con la creciente preocupación en problemas ambientales en relación con la eliminación de los productos plásticos, así como la escasez de tiraderos, se están realizando grandes esfuerzos para desarrollar plásticos totalmente biodegradables. Los primeros intentos se registraron en la década de 1980 como una posible solución a la presencia de basura a los costados de las carreteras. La mayor parte de los plásticos tradicionalmente han sido fabricados a partir de polímeros sintéticos obtenidos de recursos naturales no renovables y no son biodegradables siendo, por tanto, difíciles de reciclar. Dada la diversidad de constituyentes en los plásticos

actualmente llamados biodegradables, estos últimos se pueden considerar como materiales de composta y, en consecuencia, sólo una porción de estos plásticos puede ser verdaderamente biodegradable (Schmid, 2002).

2.6.2 Plásticos biodegradables o biopolímeros

Hasta ahora ha sido posible el desarrollo de tres plásticos presentando diferentes características de biodegradabilidad entre ellos, degradándose a lo largo de diferentes periodos (desde unas cuantas semanas a varios años) y los cuales se citan a continuación.

a) Sistema basado en almidones. Es el más alejado en términos de capacidad de producción. El almidón puede ser extraído de la papa, del trigo, arroz y del maíz (compitiendo con los seres humanos ya que son alimentos). En este sistema, los gránulos de almidón se procesan en un polvo que se calienta y se convierte en un líquido pegajoso. Este líquido es entonces enfriado, formado en pastillas y procesado en equipo de procesamiento de plásticos convencional. Se mezclan varios aditivos con el almidón a fin de impartir características especiales a los materiales bioplásticos.

b) Sistema basado en compuestos lácticos. El forraje, cuando es biodegradado, produce ácido láctico, que puede polimerizarse para formar resina de poliéster. Los usos típicos incluyen aplicaciones médicas y farmacéuticas.

c) Sistema basado en la biodegradación de azúcares. Se agregan ácidos orgánicos a una materia prima de azúcar. Utilizando un proceso desarrollado especialmente, la reacción resultante produce un polímero muy cristalino y rígido, mismo que, después de un posterior procesamiento, se comporta de manera similar a los polímeros desarrollados a partir del petróleo (Schmid, 2002; Okada, 2002).

Hoy en día se están haciendo muchos intentos para producir plásticos totalmente biodegradables, mediante el uso de diversos desperdicios agrícolas (agrodesperdicios), hidratos de carbono de las plantas, proteínas y aceites vegetales.

Las aplicaciones típicas son las siguientes:

- Utensilios de mesa desechables fabricados de un sustituto del cereal, como son los granos de arroz o la harina de trigo
- Plásticos formados casi totalmente de almidones extraídos de papas, trigo, arroz y maíz;
- Artículos de plástico fabricado de granos de café y cáscaras de arroz, deshidratadas y moldeadas a altas presiones y temperaturas;
- Polímeros solubles en agua para aplicaciones médicas y quirúrgicas
- Recipientes para alimentos y bebidas (hechos de almidón de papa, piedra caliza, celulosa y agua) que se pueden disolver en los océanos sin afectar la vida marina ni la vida silvestre (Mortensen,1999).

En vista de que el desarrollo de los plásticos biodegradables es relativamente reciente, su desempeño a largo plazo, tanto durante su ciclo de vida útil como producto, como en los tiraderos, no se ha evaluado totalmente. También existe la preocupación de que el énfasis dado a la biodegradabilidad distraiga la atención del problema del reciclado de los plásticos y los esfuerzos para la conservación de los materiales y de la energía (Manahan, 2007).

Una consideración importante es el hecho de que el costo de los polímeros biodegradables de hoy es sustancialmente más elevado que el de los polímeros sintéticos, por el subsidio ambiental al petróleo. En consecuencia, una alternativa es una mezcla de desperdicio agrícola (componente principal) y los polímeros biodegradables (componente secundario) (Schmid, 2002).

2.7 MÉXICO COMO PRODUCTOR DE MATERIAS PRIMAS PARA ELABORAR BIOPOLÍMEROS

México ocupa el segundo lugar en producción pesquera de camarón en el continente americano y el séptimo lugar a nivel mundial. Durante 2005 fueron capturadas 142,480 toneladas de este crustáceo, de los cuales México participó con la exportación mundial de 31,000 toneladas de camarón congelado (CONAPESCA, 2009; SAGARPA, 2005). Por ello, si al valor de captura se le considera que el consumo de su carne es del 50%, la

fracción restante, 71,240 toneladas, sería el desperdicio que se deposita en alta mar o, en caso de que sean limpiados en tierra, en tiraderos municipales, convirtiéndose en una fuente de contaminación de alto impacto ambiental (Duarte-de-Holanda y Netto, 2006).

El cefalotórax de camarón, en promedio, está compuesto de 44.7% de proteína, 26.3% de cenizas, 20.7% de fibra cruda, 5.2% de grasa y 3.1% de otros carbohidratos. Se destacan tres componentes potencialmente útiles que se puede reaprovechar: La quitina, los pigmentos carotenoides y las proteínas. Estos dos últimos están generalmente asociados formando complejos caroteno-proteínicos. Se calcula que el cefalotórax de camarón contiene alrededor del 14 al 27% de quitina, un polímero con diversas aplicaciones en la industria farmacéutica, de alimentos, cosmética y de empaques (Cañipa y col., 1994; Gerhertz, 1986). Este polímero se encuentra en mayor o menor extensión en los exoesqueletos de todos los artrópodos y se encuentra asociado con proteínas de manera covalente, lo cual le da considerable estabilidad a la estructura, confiriéndole dureza, rigidez y resistencia a la hidrólisis. El segundo componente más abundante en el exoesqueleto, lo constituyen las sales minerales que se encuentran asociadas a la quitina y a las proteínas confiriéndole rigidez (Cañipa y col., 1994).

2.7.1 Residuos orgánicos como biopolímeros

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

Existen estudios sobre su aprovechamiento, pero casi todos ellos son del extranjero. En el marco de ellos, resulta importante buscar nuevas opciones de uso de estas materias primas desaprovechadas, en las zonas productoras y de captura de México. Uno de los posibles usos, es el de la extracción de quitina a partir de ambos subproductos, ya que es un

producto estable en condiciones ambientales además de ser biodegradable cuando es depositado en la basura al estar en contacto con microorganismos (Barrera-Rodríguez y col., 2007).

2.8 QUITINA COMO MATERIA PRIMA

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

2.8.1 Descubrimiento de la quitina

Los primeros aislamientos de la quitina datan desde principios del siglo XIX, cuando en el año 1811, el profesor Henri Braconnot, director del Jardín Botánico en Nancy, Francia, aisló una fracción llamada “*fungine*” de las membranas celulares de las setas. Más tarde, en 1823, el nombre “*fungine*” cambió a quitina, casi tres décadas antes del aislamiento de la celulosa. En 1830, se aisló en insectos y se le dio el nombre de quitina. La primera persona que consiguió describir correctamente la estructura química de la quitina fue el conocido químico suizo Albert Hofmann (Teisaire y Alderete, 2009).

Actualmente, la quitina se obtiene principalmente de los exosqueletos de los crustáceos industrialmente procesados, tales como langosta, cangrejo y camarón, los cuales contienen entre el 20 y el 40% de quitina. El uso creciente de la quitina, así como de sus derivados, ha sido motivado por el hecho de que, al contrario de los derivados del petróleo, ésta se obtiene de los subproductos de las industrias pesqueras, fuente naturalmente renovable, no tóxica y no alergénica y, además, antimicrobiana y biodegradable (Conde, 2007).

2.8.2 Características de la quitina

La quitina es un polímero, es decir, una molécula de gran tamaño constituida esencialmente por azúcares N-acetilglucosamina (polisacárido) y oxígeno. Sus moléculas son fibrosas y logran un material de gran resistencia química y mecánica. Es el segundo compuesto orgánico más abundante que existe en la naturaleza, después de la celulosa. Es el principal

componente de las cutículas de artrópodos como los crustáceos e insectos. 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. La forma que parece ser la más estable es la α -quitina, la cual se muestra en la Figura 2 (Roberts, 1992).

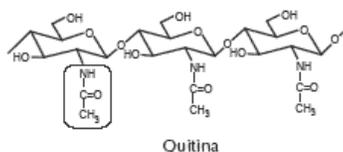


Figura 2. Estructura de la quitina (Roberts, 1992)

Por no ser degradable en agua, es necesario modificar la estructura del polímero para obtener derivados solubles resultado de un proceso de desacetilación, que consiste en eliminar los grupos acetilo obteniendo un producto soluble en medio ácido y, por tanto, de más fácil manipulación (Miranda, 2005). El procedimiento habitual de la obtención de quitina y de quitosana, es estructuralmente degradable y contaminante, ya que emplea disolventes orgánicos dañinos al medio ambiente (NaOH y HCl que acortan el peso molecular de la quitina y generan residuos corrosivos). En estudios previos (Flores, 2008; Flores-Ortega y col., 2004), se determinó la manera de extraer quitina del cefalotórax del camarón de forma segura, sin la necesidad de utilizar ácido clorhídrico e hidróxido de sodio.

2.8.3 Usos alternos de la quitina

Las aplicaciones de la quitina y quitosana¹ son muy amplias, existiendo sectores en los que su utilización es habitual y conocida, y otros en los que constituye actualmente una interesante vía de investigación:

¹ La palabra quitosana aparece en diversas publicaciones como quitosán y quitosano. En esta tesis, siendo una goma derivada de la quitina, se sigue la nomenclatura internacional de llamarla quitosana (como xantana, glucana, dextrana, etc.)

a) Tratamiento de aguas

La quitina, la quitosana y sus derivados actúan como agentes quelantes de metales de transición y contaminantes ambientales (como los bifenilos policlorados o BPC, *PCB* por sus siglas en inglés), como removedores de iones metálicos (Hg, Cd, Pb, Ag y Ni), como agentes floculantes, coagulantes y precipitantes de proteínas, aminoácidos, tintes, colorantes, algas, aceites, metales radioactivos (U y Co), partículas en suspensión y plaguicidas. Por ello, se emplean en el tratamiento de piscinas y estanques, efluentes de industrias de alimentación y residuos alimenticios (reduciendo su contenido de contaminantes medidos como demanda química de oxígeno, DQO, hasta en un 80%), aguas residuales (refinerías de petróleo, plantas procesadoras de pescado, cerveceras, mataderos o rastros, etc.) y en el tratamiento de agua potable.

b) Industria alimentaria

Como aditivos en los alimentos: Por sus propiedades como agentes espesantes, gelificantes y emulsificantes se utilizan como mejoradores de la textura, ya que fijan agua y grasa (p. ej., quitina cristalina). También se emplean como estabilizantes del color, como agente que previene la precipitación en el vinagre, como aditivos con características nutricionales (fibra dietética, ingrediente funcional), en galletas y panificación (previene la disminución del volumen de la masa), como aditivo para alimentación animal (hasta el 10% en alimento para pollos), aumenta la proliferación y vigor de bifidobacterias en el buche de los rumiantes que bloquean el desarrollo de otros microorganismos y generan lactasa. También son utilizadas en harinas de crustáceos (*shellfish*, en inglés), que contienen proteínas, quitina y astaxantinas y que se usan en la alimentación del salmón cultivado. También son utilizados en la envoltura y recubrimientos protectores de alimentos: Las películas elaboradas con quitosana son resistentes, duraderas y flexibles con propiedades mecánicas similares a los polímeros comerciales de fuerza media. Su uso como películas comestibles puede favorecer la protección de la vida silvestre, ya que aunque sean ingeridos por algunos animales (el 30% de los peces marinos tienen plásticos en su estómago) pueden ser fácilmente degradados por enzimas existentes en el estómago de algunos de ellos. También se emplean junto con otros elementos en recubrimientos para frutas (N,O-

carboximetilquitina) retrasando el envejecimiento, disminuyendo la oxidación, las pérdidas por transpiración y protegiéndolos frente al ataque de hongos (Pastrana, 2010).

Su acción como protector de alimentos frente a microorganismos como bacterias, levaduras y hongos (concentraciones \geq del 0.02% protegen frente a *E. coli*). Es interesante para la obtención de alimentos mínimamente procesados y para retrasar la aparición del resabio de sabor en la carne. En concreto, la acción antimicrobiana la realizan privando a los microorganismos de iones vitales (Cu), bloqueando o destruyendo la membrana, filtrando constituyentes intracelulares, y formando complejos polielectrolíticos con polímeros ácidos y células de superficie (Pastrana, 2010).

2.9 ADITIVOS

La reglamentación actual define como “aditivo alimentario” cualquier sustancia que, normalmente no se consume como alimento en sí, ni se use como ingrediente característico en la alimentación, independientemente de que tenga o no valor nutritivo y cuya adición intencionada a los productos alimenticios con un propósito tecnológico en la fase de su fabricación, transformación, preparación, tratamiento, envase, transporte o almacenamiento tenga o pueda esperarse razonablemente que tenga, directa o indirectamente, como resultado que el propio aditivo y sus subproductos se conviertan en un componente de dichos productos alimenticios y que no cause daños a la salud (Vicente, 2000a,b).

Otra definición que se ha dado a los aditivos es la siguiente: Sustancias que se añaden intencionalmente a los alimentos, sin propósito de cambiar su valor nutritivo, con la finalidad de modificar sus características técnicas de elaboración, conservación y/o para mejorar su adaptación al uso que se destinen.

2.9.1 Clasificación de los aditivos alimentarios en función de su acción.

Los aditivos se clasifican en función de la acción que realizan sobre los alimentos en:

- Colorantes
- Aromas
- Conservadores

- Antioxidantes
- Emulgentes, estabilizantes, espesantes y gelificantes
- Acidulantes y correctores de la acidez
- Antiaglomerantes
- Potenciadores de sabor
- Antiespumantes
- Edulcorantes artificiales
- Gasificantes

Productos diversos (endurecedores, humectantes, agentes de recubrimiento, gases de envasados, etc.) (Vicente, 2000a,b).

Muchas sustancias o aditivos tienen funciones múltiples (espesantes y gelificantes, etc.) y, por eso, se les agrupa bajo el denominador común de estabilizadores.

2.9.2 Aditivos utilizados en este proyecto

En esta investigación se busca mejorar las propiedades mecánicas de la quitina obtenida de los residuos del camarón, por lo que se estudiaron aquellos comúnmente adicionados a los polímeros sintéticos. Éstos son:

- Sorbitol

Es el D-Glucitol o sea el alditol producido por la reducción de D-glucosa (Fig. 3). 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 de azúcar en alimentos (McMurry, 2001). El sorbitol es reconocido como inofensivo (*GRAS*, generalmente reconocido como inocuo, por sus siglas en inglés) y no se han encontrado efectos perjudiciales en el organismo a dosis normales de ingesta. Si ésta es muy elevada pueden darse efectos laxantes debido al bajo metabolismo intestinal de la molécula. El sorbitol se metaboliza en el hígado a fructosa. Actualmente, este monómero está bajo la lupa ya que se

consume en exceso y al transformarse en el organismo a triglicéridos hace que muchas personas tengan exceso de triglicéridos. Así que, aunque para los diabéticos es mejor que la glucosa, no lo es tanto para la producción de triglicéridos (Cubero, 2002; Martínez-Tinajero y col., 2007, 2008, 2010).

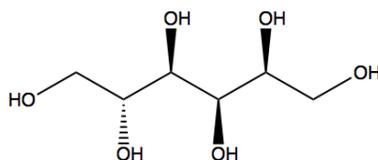


Figura 3. Estructura del sorbitol

- Propilenglicol

El propilenglicol es un líquido viscoso, de densidad muy similar a la del agua, no es tóxico, es utilizado como refrigerante y/o anticongelante, en los casos en los que no se puede usar el etilenglicol por su toxicidad, por ejemplo, en cámaras frigoríficas de la industria alimentaria. La Figura 4 presenta su estructura química (Cubero, 2002; Hughes, 1994).

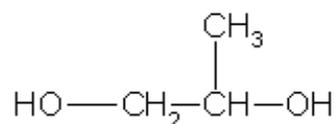


Figura 4. Estructura del propilenglicol

- Polietilenglicol

El polietilenglicol es un poli-éter ampliamente utilizado en la industria. La dosis aceptada como aditivo es 25mg/kg/d. Uno de sus usos más comunes es en la medicina como laxante para tratar el estreñimiento. No se absorbe por la piel intacta y, en caso de presentar áreas

de discontinuidad, la absorción es pobre por vía oral. Se elimina en la orina hasta con un 45% sin metabolizar, lo que indica que la otra parte se metaboliza en el organismo aunque no se tienen informes de si los productos resultantes son inocuos o no. Vida media como molécula completa: 15 a 20 h en niños y 2 a 5 h en adultos. En la Figura 5 se presenta su estructura (Carrasco, 2000).

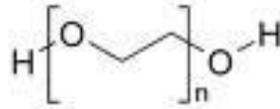


Figura 5. Estructura del polietilenglicol (PEG)

2.10 PRUEBAS MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas que se emplearon en esta investigación fueron determinadas según la metodología propuesta por la ATSM (2002), las cuales se describen más adelante, y sirven para la identificación y caracterización de materiales plásticos. Las propiedades de tensión, pueden variar según el espesor, el método de preparación de la muestra, la manera en la que se colocan las probetas y la manera en la que se mide la separación de las crucetas que sostienen las probetas. Las condiciones de análisis deben ser las siguientes: $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($73.4\pm 3.6^{\circ}\text{F}$) y $50\pm 5\%$ de humedad relativa. La velocidad a la que deben separarse las crucetas se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = BC \quad (2-1)$$

donde:

A= Separación de las crucetas (mm o pulg/min)

B= Distancia inicial entre las crucetas (mm o pulg)

C= Velocidad de deformación inicial (mm o pulg/min)

2.10.1 Tensión en la carga máxima (Askeland, 2006)

La tensión es el tipo de fuerza que se ejerce en el sentido de la gravedad, es decir, hacia abajo. 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.

2.10.2 Tensión en el punto de ruptura

También llamada módulo de ruptura o tenacidad de ruptura. En este ensayo, la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente una tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Durante la tensión, la deformación se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud (Askeland, 2006). También puede ser calculado integrando la energía por unidad de volumen debajo de la curva de esfuerzo vs deformación.

2.10.3 Módulo de Young

El módulo de elasticidad o módulo de Young de un material es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria. Se representa por la letra E y es una indicación de la *rigidez* de un material.

$$E = \text{esfuerzo (kgf/cm}^2\text{)} / \text{deformación unitaria} = \text{kgf/cm}^2 \quad (2-2)$$

donde:

E = módulo de elasticidad en kilogramos por centímetro cuadrado (módulo de Young)

P = fuerza aplicada en kilogramos fuerza

f = esfuerzo en el miembro en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado

A = área de la sección transversal del miembro en centímetros cuadrados

l = longitud del miembro en centímetros

e = deformación total en centímetros

s = deformación unitaria en centímetros por cada centímetro

También se puede calcular como (Kane, 2007):

$$E = \text{esfuerzo unitario} / \text{deformación unitaria} = f / s = (P/A) / (e/l) = Pl / Ae \quad (2-3)$$

El módulo elástico también puede ser calculado gráficamente, dibujando una línea tangente desde la parte inicial de la curva formada por la gráfica de esfuerzo vs deformación, seleccionando un punto de esa recta tangente y dividiéndolo entre la tensión y el esfuerzo correspondiente (ATSM, 2002).

2.10.4 Porcentaje de elongación de ruptura o porcentaje de deformación

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material. El porcentaje de elongación de una muestra después de la fractura puede medirse juntando la muestra fracturada y midiendo la longitud final con un calibrador. El porcentaje de elongación puede calcularse mediante la ecuación

$$\% \text{ elongación} = [(l - l_0) / l_0] * 100\% \quad (2-4)$$

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

2.10.5 Tenacidad

También es conocida como: resistencia máxima a la tensión. Esta prueba indica la capacidad máxima que tienen los materiales de absorber energía antes de romperse. La tenacidad a la tensión es igual al área bajo la curva esfuerzo-deformación en datos reales o ingenieriles. Si la muestra desarrolla un decrecimiento localizado en su sección (un estrangulamiento de su sección antes de la rotura), la tensión decrecerá al aumentar la

deformación hasta que ocurra la fractura puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra. Mientras más dúctil sea el material, mayor será el decrecimiento en la tensión en la curva tensión-deformación después de la tensión máxima. La resistencia máxima a la tensión de un material se determina dibujando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva tensión–deformación hasta el eje de las tensiones. La tensión a la que la línea intercepta al eje de tensión se denomina *resistencia máxima a la tensión*, o a veces simplemente resistencia a la tensión o tensión de fractura. (Askeland, 2006).

2.10.6 Límite elástico

Es un esfuerzo unitario propio de ciertos materiales. 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 recuperará 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

METODOLOGÍA

3.1 OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearon cefalotórax de camarón frescos, proporcionados gratuitamente por los comerciantes de la zona de pescados y mariscos de La Nueva Viga, en la ciudad de México, D.F. México. El diagrama 1 muestra el proceso para la obtención de harina de cefalotórax de camarón y el diagrama 2 para la obtención de esponja de quitina(puntos 3.9 y 3.10)

3.2 LIMPIEZA

Una vez adquiridos los cefalotórax de camarón fresco, fueron limpiados de objetos extraños al lavarse con un chorro de agua de la llave, hasta observar que el agua saliera limpia, dejándose escurrir durante 20 minutos. Para fines de este estudio los cefalotórax deben ser preferentemente frescos; sin embargo, en caso de que no se pueda realizar la extracción en ese mismo día, deben de mantenerse en refrigeración para evitar la descomposición microbiana.

3.3 SEPARACIÓN DE LA QUITINA

Para esta parte, se realizó la separación de quitina del cefalotórax de camarón (CC) utilizando la metodología desarrollada por Flores (2008), la cual consiste en un lavado a molienda con agua del CC, con el objetivo de extraer las proteínas solubles, grasas y los pigmentos. El producto obtenido de esta manera, es la quitina calcárea.

3.4 DISOLUCIÓN DE QUITINA

La quitina se disuelve y se extrae de la quitina calcárea adicionando un disolvente poco tóxico formado de una solución saturada de cloruro de calcio (MeOH + Agua + CaCl₂), patentado por Flores Ortega y col (2004). Después de 24 horas la solución es filtrada al vacío para separar los residuos sólidos.

3.5 FORMACIÓN DE ESPONJAS DE QUITINA

La solución de quitina-disolvente obtenida se agita manualmente o con la ayuda de un motor durante tres minutos para producir espuma.

3.6 INCLUSIÓN DEL AGENTE ADITIVO

Para definir el mejor agente plastificante que sirviera de dar la mayor dureza a las esponjas de quitina, se diseñó un experimento con tres diferentes niveles de cada uno de ellos considerando como variable dependiente la textura de las esponjas obtenidas.

De los tres agentes plastificantes, solamente el polietilenglicol fue acondicionado (preparación del agente plastificante con agua, con una relación de 100 g de plastificante en 1000 mL de agua, según el instructivo del fabricante) ya que los otros 2 plastificantes sí venían en solución (Fotografía 1).



Fotografía 1. Agentes aditivos empleados (de izquierda a derecha: polietilenglicol, propilenglicol y sorbitol)

En el caso del sorbitol, se encontraba en un porcentaje del 70% en disolución acuosa.

El propilenglicol fue adquirido en la Farmacia París del centro de la Ciudad de México sin ninguna especificación por parte del proveedor del contenido de propilenglicol en agua. Esta incógnita no afectó su aplicación en estos experimentos.

Debido a que la masa promedio de las probetas de esponja de quitina era de 0.1g, la adición del agente plastificante se realizó de manera individual sobre las probetas ya cortadas dejándolas en contacto con la solución por un lapso de 24 horas (Fotografía 2).



Fotografía 2. Adición de agentes aditivos

En la Tabla 1 se presentan las proporciones en g de esponja/mL de plastificante: Nivel bajo 1:1; Nivel medio 1:10; Nivel alto 1:100.

Tabla 1. Proporción de los agentes plastificantes con relación a la masa de las probetas de esponja de quitina

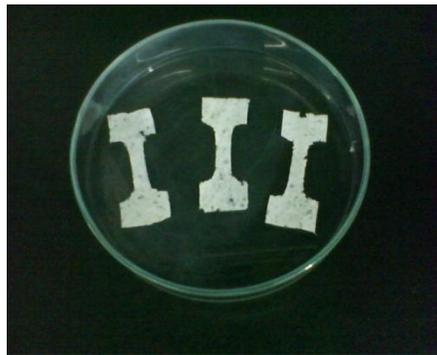
Agente plastificante	Polietilenglicol (mL/g EQ)	Sorbitol acuoso al 70% (mL/g EQ)	Propilenglicol (mL/g EQ)
Nivel bajo	1	1	1
Nivel medio	10	10	10
Nivel alto	100	100	100

*EQ: Esponja de quitina

Finalmente se realizaron pruebas cuantitativas sobre el porcentaje de aditivo incorporado en la esponja, para lo cual, se pesó la esponja seca sin plastificante y, posteriormente, la esponja seca con la adición del plastificante.

3.7 PRUEBAS MECÁNICAS

Una vez obtenidas las esponjas que presentaron una mayor dureza, determinada de manera subjetiva (visual y táctil) se prepararon las probetas de 40 mm x 10 mm como se muestra en la Fotografía 3. Dichas probetas se cortaron con un “suaje” o molde y se tomaron medidas de la anchura y el espesor con un Vernier. Cada probeta se probó en un equipo Instron Modelo 5500R, en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, a una velocidad de cruceta de 1mm/min y una distancia inicial de 30mm, bajo condiciones ambientales de 50% humedad y de 22.7°C (73°F). Con este equipo fue posible la obtención de los siguientes datos: Tensión en la carga máxima (MPa), tensión en el punto de ruptura (MPa), módulo de Young (MPa), porcentaje de deformación (%) y la tenacidad. De los datos experimentales obtenidos se pudo calcular una sexta propiedad mecánica, el límite elástico (ASTM, 2002).



Fotografía 3. Probetas de esponja de quitina acondicionadas con aditivos

3.8 COMPARACIÓN ENTRE UNA PROBETA DE ESPONJA DE QUITINA Y UNA DE POLIESTIRENO ESPUMADO

Después de realizar las pruebas mecánicas, los resultados se sometieron a un análisis estadístico utilizando el software Statgraphics Plus versión 5.1, de acuerdo con el instructivo del licenciador.

3.9 DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DE HARINA DE CEFALOTÓRAX DE CAMARÓN

A continuación, en el Diagrama 1, se presenta la metodología seguida en forma de diagrama de bloques para la obtención de harina de cefalotórax y exoesqueleto de camarón.

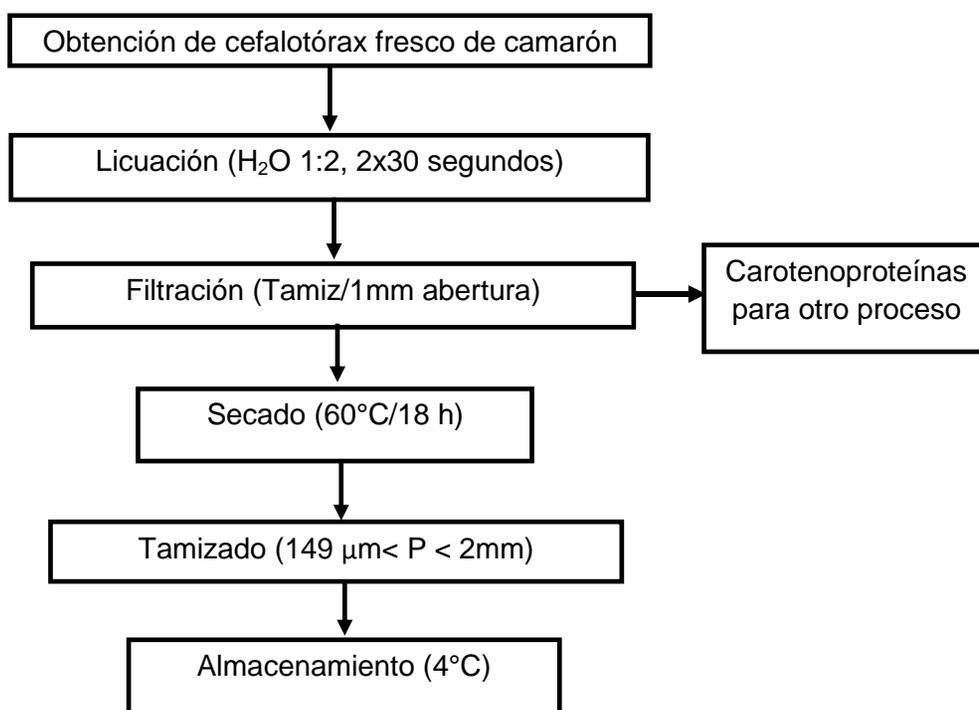


Diagrama 1.- Obtención de harina de cefalotórax de camarón

3.10 DIAGRAMA DE BLOQUES DE OBTENCIÓN DE ESPONJAS ACONDICIONADAS DE CEFALOTÓRAX Y EXOESQUELETO DE CAMARÓN

A continuación, en el Diagrama 2, se presenta el proceso seguido para la obtención de esponjas de quitina a partir de harina de cefalotórax de camarón obtenida del Diagrama 1.

Es interesante observar que el disolvente MAC puede recuperarse y reutilizarse haciendo el proceso más amigable con el ambiente y, naturalmente, más económico. Asimismo, los otros productos (carotenoproteínas en suspensión y disueltas y harinas resultantes de la separación, pueden usarse para alimentos balanceados).

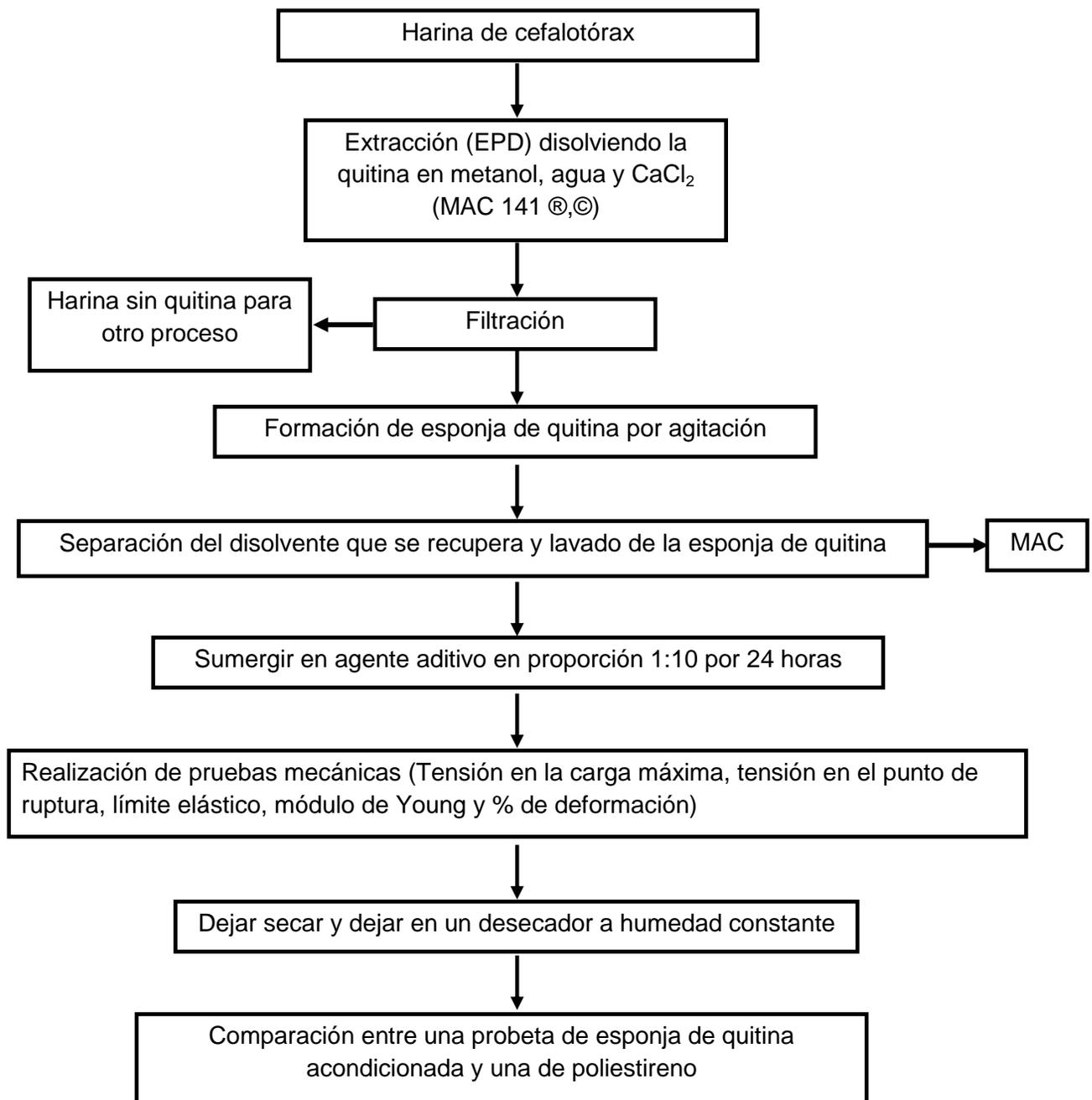


Diagrama 2.- Obtención de esponjas acondicionadas de cefalotórax y exoesqueleto de camarón

3.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico utilizando el paquete de cómputo Statgraphics Plus 5.1. Con esto se pudieron analizar y comparar los diferentes valores obtenidos en las cinco pruebas mecánicas realizadas para cada una de las probetas acondicionadas con los tres aditivos, así como los valores de las pruebas mecánicas para las probetas de poliestireno espumado de uso comercial que se emplearon como control.

Los resultados analizados se presentan en los puntos 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE HARINA OBTENIDA A PARTIR DE EXOESQUELETOS FRESCOS DE CAMARÓN

Para la elaboración de la harina de exoesqueleto parcialmente desproteinizado, EPD, se obtuvieron cefalotórax de camarón del nuevo Mercado de La Viga, realizándose para ello dos ensayos para obtener la harina (cada ensayo con una muestra de harina) con la finalidad de evaluar la eficiencia de separación (cefalotórax transformado en harina seca). Para ello, se pesaron los kilogramos obtenidos para cada ensayo:

Muestra 1 = 7kg de cefalotórax de camarón

Muestra 2 = 30kg de cefalotórax de camarón

En la Tabla 2 se presenta la producción de harina de 1 mm de tamaño promedio de partícula de exoesqueleto de camarón a partir de residuos frescos, que traen todavía órganos internos. El porcentaje de rendimiento está calculado a partir de exoesqueletos frescos de camarón.

Tabla 2. Obtención de harina de cefalotórax y exoesqueleto

Muestra, g	Cefalotórax y exoesqueleto limpio húmedo sin órganos internos, g	% de rendimiento	Cefalotórax y exoesqueleto seco molido (harina), g	% de rendimiento
7000	524	7	182.1	34.75
30000	1420	4.7	519.5	36.58

Con base en los resultados descritos en la Tabla 2, se puede establecer que, en promedio, el contenido de materiales orgánicos es muy alto, por lo que se deberá probar en una siguiente fase de esta investigación con el residuo completo para evaluar el rendimiento de quitina integral.

Una vez que el material ya no tiene órganos internos, se logra una recuperación del 36% de harina de exoesqueleto a partir de los exoesqueletos húmedos.

Este último producto fue el que se utilizó en esta investigación como materia prima para la obtención de quitina para la producción de esponjas acondicionadas.

4.2 Elaboración de esponjas de quitina utilizando los tres agentes aditivos

Respecto de los experimentos realizados con las diferentes proporciones de cada uno de los aditivos probados (1:1, 1:10, 1:100), se pudo constatar que después de dejarlas por 24 horas, las que tenían la proporción 1:1 no alcanzaban a absorber el aditivo y las que tenía 1:100 quedaban demasiado húmedas, impidiendo que se pudieran formar las probetas para las pruebas mecánicas.

Las muestras con la proporción 1:10 fueron la que tuvieron el mejor comportamiento. Sin embargo, la absorción fue de aproximadamente el 50%. Sería importante, en una siguiente fase de esta investigación, probar proporciones más cercanas a este intervalo (1:5, 1:7, 1:10). De ésta fue de las que se prepararon las probetas para las pruebas mecánicas.

En las Tablas 3 a 5 se presentan las proporciones que se probaron para la obtención de esponjas de quitina empleando como agentes aditivos el propilenglicol, el sorbitol y el polietilenglicol en la proporción 1:10.

Para ellas, se usó el método propuesto por Flores (2008) para la obtención de esponjas de quitina y las proporciones propuestas por Arias y Mendoza (2010) en una relación de 1:20 (4g de harina de EPD y 80g de MAC-141).

Tabla 3. Obtención de esponjas de quitina utilizando como aditivo el propilenglicol

No. de ensayo	Masa CEPD (g)	Masa MAC-141 (g)	Masa QUIMAC* (g)	Masa de esponja (g)	Volumen de aditivo: Propilenglicol (mL)	Tamaño esponja, cm ²	Rendimiento partiendo de g iniciales de CEPD (%)
1	12.06	240.70	124.34	7.38	70	57.16	61.19
2	12.00	240.20	117.86	6.37	63	44.28	53.08
3	12.09	241.08	114.30	6.15	61	49.9	50.86
4	12.07	240.40	119.73	6.42	64	48.9	53.18
5	12.03	240.34	125.45	7.31	73	45.9	67.76

CEPD: Cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteinizado.

MAC-141: Por sus siglas en español Metanol, Agua y Cloruro de calcio, en relación molar 1:4:1

QUIMAC: quitina en solución como producto de la incubación y la filtración de la mezcla

De la Tabla 3, en la que se empleó propilenglicol, la mejor esponja fue la muestra 5, donde se obtuvo el mayor rendimiento de 67.76%.

Tabla 4. Obtención de esponjas de quitina utilizando como aditivo sorbitol

No. de ensayo	Masa CEPD (g)	Masa MAC-141 (g)	Masa QUIMAC* (g)	Masa Esponja (g)	Volumen de aditivo: Sorbitol (mL)	Tamaño Esponja cm ²	Rendimiento partiendo de g iniciales de CEPD (%)
1	12.12	240.01	116.31	6.32	63	44.56	52.14
2	12.03	240.32	113.12	6.43	64	47.67	52.27
3	12.09	240.47	110.98	5.38	53	43.23	44.5
4	12.07	241.63	113.97	6.41	64	48.02	53.10
5	12.04	240.17	118.73	6.23	62	41.75	51.74

CEPD: Cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteinizado.

MAC-141: Por sus siglas en español Metanol, Agua y Cloruro de calcio, en relación molar 1:4:1

QUIMAC: quitina en solución como producto de la incubación y la filtración de la mezcla

De la Tabla 4, con sorbitol, el mejor producto fue el del ensayo 4 con un rendimiento de 53.10.

Tabla 5. Obtención de esponjas de quitina utilizando como aditivo polietilenglicol

No. de ensayo	Masa CEPD (g)	Masa MAC-141 (g)	Masa QUIMAC* (g)	Masa esponja (g)	Volumen de aditivo (mL)	Tamaño Esponja cm ²	Rendimiento partiendo de g iniciales de CEPD (%)
1	12.21	240.02	111.42	6.32	63	48.9	51.76
2	12.02	240.11	117.93	6.35	63	55.08	52.82
3	12.06	241.05	115.13	6.44	64	47.6	53.4
4	12.00	240.07	114.31	6.42	62	49.24	53.5
5	12.05	240.24	113.95	5.37	53	44.84	44.56

CEPD: Cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteínizado.

MAC-141: Por sus siglas en español Metanol, Agua y Cloruro de calcio, en relación molar 1:4:1

QUIMAC: quitina en solución como producto de la incubación y la filtración de la mezcla

De la Tabla 5, en la que se usó el polietilenglicol, el mejor ensayo fue el 4 con un valor de 53.5%.

En los tres casos, se tomó como parámetro el rendimiento obtenido a partir de las harinas de cefalotórax y exoesqueleto de camarón.

Con base en el rendimiento reportado en las tablas anteriores se seleccionaron las muestras con el mayor rendimiento para preparar las probetas que se emplearon en la realización de las pruebas mecánicas. (Tabla 6).

Tabla 6. Obtención de esponjas de quitina para las pruebas mecánicas

	Masa CEPD (g)	Masa MAC-141 (g)	Masa QUIMAC* (g)	Masa esponja (g)	Volumen de aditivo (mL)	Tamaño Esponja cm	Rendimiento partiendo de g iniciales de CEPD (%)
Propilenglicol	12.03	240.34	125.45	7.31	73	45.9	67.76
Sorbitol	12.07	241.63	113.97	6.41	64	48.02	53.10
Polietilenglicol	12.00	240.07	114.31	6.42	62	49.24	53.5

CEPD: Cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteínizado.

MAC-141: Por sus siglas en español Metanol, Agua y Cloruro de calcio, en relación molar 1:4:1

QUIMAC: quitina en solución como producto de la incubación y la filtración de la mezcla

4.3 Resultados de las pruebas mecánicas a las probetas de quitina y poliestireno espumado (control)

Para la realización de las pruebas mecánicas, se fabricaron 15 esponjas de quitina con cada aditivo, de las cuales se tomaron tres probetas para cada una de las cinco pruebas mecánicas, teniendo así un total de 45 probetas fabricadas a partir de exoesqueleto de cefalotórax de camarón.

Se determinaron la tensión en la carga máxima (MPa), la tensión en el punto de ruptura (MPa), el módulo de Young (MPa), el porcentaje de deformación (%) y la tenacidad. Una sexta propiedad mecánica, el límite elástico de cada probeta, puede calcularse de los datos experimentales obtenidos (ASTM, 2002). Como ya se mencionó en la metodología, se empleó un equipo Instron modelo 5500R, a una velocidad de cruceta de 1mm/min y una distancia inicial de 30mm, manteniendo las condiciones ambientales de 50% humedad y 22°C. Los resultados que se obtuvieron a partir de las mediciones en el equipo Instron 5500R y de un software complementario al equipo, se imprimieron para observar visualmente su comportamiento. Estos datos se encuentran en los Apéndices A.1 a 3.

4.3.1 Tensión en la carga máxima

En la Tabla 7 se presentan los resultados de las pruebas estadísticas de análisis de varianza, *andeva* (*anova* en inglés) que muestran que sí existe una diferencia estadísticamente significativa entre las probetas de quitina acondicionadas con cualquiera de los tres aditivos y la de poliestireno espumado de uso comercial ($P < 0.05$).

En la Tabla 8 se presentan los resultados de las pruebas estadísticas para ver las diferencias entre los tres aditivos. La probeta que presentó un valor de media mayor (1.4072) de tensión en la carga máxima fue la acondicionada con sorbitol y la que presenta un valor de media menor (0.3996) fue la que fue acondicionada con polietilenglicol. También describe claramente que existe una diferencia significativa entre las tres muestras, es decir, las muestras que son estadísticamente diferentes con respecto a las del control de poliestireno espumado son las que se acondicionaron con polietilenglicol y con propilenglicol ya que en el caso de las probetas acondicionadas con sorbitol que fueron comparadas con las probetas de poliestireno espumado no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Esto se puede corroborar en la sección que se presenta como grupos homogéneos de la misma Tabla 8, ya que las dos “x”, tanto del poliestireno espumado como del sorbitol, se encuentran posicionadas del mismo lado, cosa que no sucede con las “x” que corresponden a las probetas acondicionadas con propilenglicol y polietilenglicol. Esta diferencia también se expresa mediante unos asteriscos en la parte inferior de la Tabla.

Tabla 7. Análisis de varianza para la prueba de tensión en la carga máxima (Gl: Grados libertad, F cociente de la estimación de los grupos comparados, P-valor : nivel de significancia)

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	3.10224	3	1.03408	13.52	0.0001
Intra grupos	1.22387	16	0.0764919		
Total (Corr.)	4.32611	19			

Tabla 8. Contraste múltiple de rango para la prueba de tensión en la carga máxima (PG: Propilenglicol, PEG: Polietilenglicol, Ps: Poliestireno espumado, S: sorbitol, LSD: Menores diferencias significativas de Fisher)

Método: 95.0 porcentaje LSD			
Aditivos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
PG	5	0.3996	X
PEG	5	0.6686	X
PS	5	1.1436	X
S	5	1.4072	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
PEG - PG	0.269	0.370813
PEG - PS	*-0.475	0.370813
PEG - S	*-0.7386	0.370813
PG - PS	*-0.744	0.370813
PG - S	*-1.0076	0.370813
PS - S	-0.2636	0.370813

* indica una diferencia significativa.

En el Gráfico 1 puede verse que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las probetas acondicionadas con sorbitol y las de poliestireno espumado. Por el contrario, se ve la diferencia significativa entre las probetas acondicionadas con polietilenglicol y propilenglicol con respecto a las de sorbitol y poliestireno espumado.

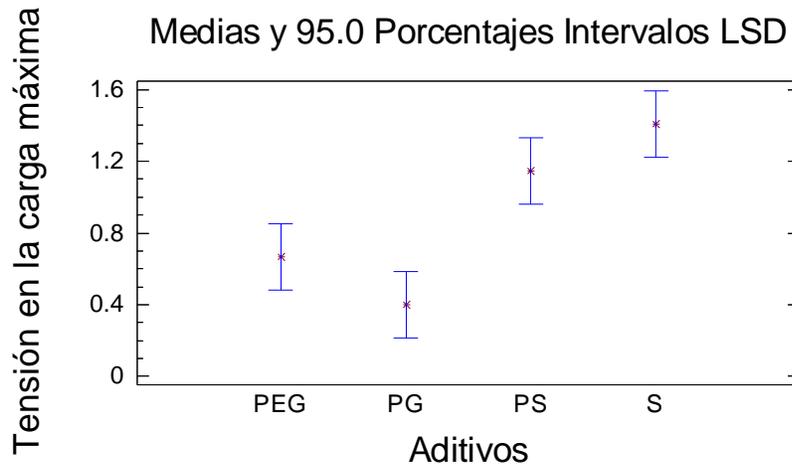


Gráfico 1. Diferencia de medias en un intervalo de confianza de 95% (PEG: Polietilenglicol, PG: Propilenglicol, PS: Poliestireno espumado, S: Sorbitol)

4.3.2 Tensión en el punto de ruptura

En la Tabla 9 se presentan los análisis de varianza para la propiedad mecánica de tensión en el punto de ruptura en la que, como en el caso anterior, el valor de P fue menor a 0.05, ($p < 0.05$) por lo que se corrobora que las muestras evaluadas sí presentaron diferencias significativa entre todas ellas en un nivel de confianza de 95%.

En la Tabla 10 se describen los valores de tensión en el punto de ruptura, siendo la probeta acondicionada con sorbitol la que presenta un valor de media mayor (1.2808) y la probeta acondicionada con propilenglicol la que presenta un valor de media menor (0.3746). En esta Tabla 10 también se encuentra una diferencia estadísticamente significativa entre las probetas acondicionadas con polietilenglicol y sorbitol, propilenglicol y sorbitol y las probetas acondicionadas con propilenglicol y el control de poliestireno; no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las probetas acondicionadas de polietilenglicol y propilenglicol, con las probetas acondicionadas con polietilenglicol y poliestireno espumado así como tampoco con las probetas acondicionadas con sorbitol y poliestireno espumado.

En el Gráfico 2 se representan claramente las diferencias estadísticamente significativas entre el poliestireno espumado y el propilenglicol, así como las similitudes que estas probetas presentan con las acondicionadas con sorbitol y con polietilenglicol.

Tabla 9. Análisis de varianza para la prueba de tensión en el punto de ruptura(Gl: Grados libertad, F cociente de la estimación de los grupos comparados, P-valor : nivel de significancia)

Análisis de la Varianza						
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor	
Entre grupos	2.29232	3	0.764107	8.29	0.0015	
Intra grupos	1.47485	16	0.0921784			
Total (Corr.)	3.76717	19				

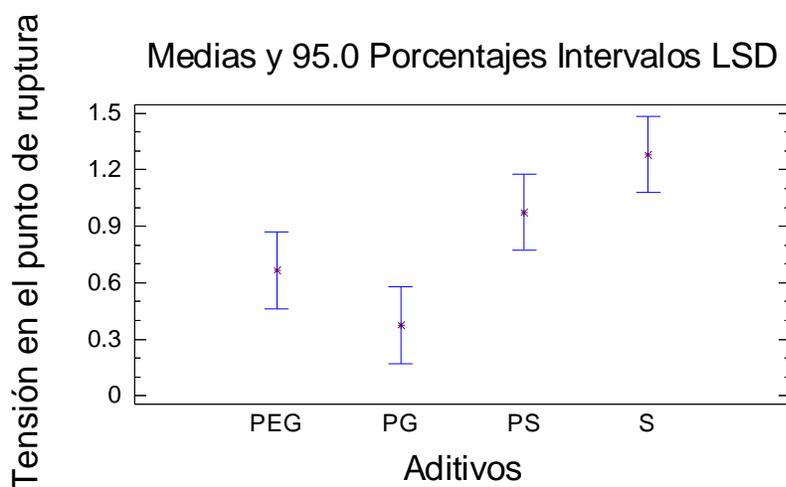
Tabla 10. Contraste múltiple de rango para la prueba de tensión en el punto de ruptura(PG: Propilenglicol, PEG: Polietilenglicol, Ps: Poliestireno espumado, S: sorbitol, LSD: Menores diferencias significativas de Fisher)

Método: 95.0 porcentaje LSD			
Aditivos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
PG	5	0.3746	X
PEG	5	0.6652	XX
PS	5	0.9744	XX
S	5	1.2808	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
PEG - PG	0.2906	0.407063
PEG - PS	-0.3092	0.407063
PEG - S	*-0.6156	0.407063
PG - PS	*-0.5998	0.407063
PG - S	*-0.9062	0.407063
PS - S	-0.3064	0.407063

* indica una diferencia significativa.

Gráfico 2. Diferencia de medias para la prueba de tensión en el punto de ruptura en un intervalo de confianza de 95%(PEG: Polietilenglicol, PG: Propilenglicol, PS: Poliestireno espumado, S: Sorbitol)



4.3.3 Módulo de Young

En los resultados del análisis de varianza presentados en la Tabla 11, para la propiedad mecánica que se refiere al módulo de Young, se observa que el valor de P-valor (0.0775) fue superior a 0.05 por que solamente existen diferencias estadísticamente significativas entre las probetas acondicionadas con polietilenglicol y propilenglicol y las probetas acondicionadas con propilenglicol y sorbitol. Ninguna de las probetas acondicionadas presentó diferencias estadísticamente significativa con las probetas elaboradas a partir de poliestireno espumado. En la Tabla 12 se muestra que el valor mayor en lo que se refiere a la propiedad del módulo de elasticidad o módulo de Young lo poseen las probetas acondicionadas con sorbitol (50.3046) y el valor menor de medias le corresponde a las probetas acondicionadas con propilenglicol (14.6318). En la parte inferior de esta Tabla se encuentran descritas las diferencias estadísticamente significativas entre las probetas, que ya han sido mencionadas. En el Gráfico 3 se representa la diferencia estadísticamente significativa que existe entre las probetas acondicionadas con propilenglicol y con las probetas acondicionadas con polietilenglicol, ya que ésta es la única diferencia encontrada

entre las probetas evaluadas, debido a que ninguna de las probetas acondicionadas con los tres distintos agentes aditivos presentó una diferencia estadísticamente significativa con las probetas de poliestireno espumado de uso comercial.

Tabla 11. Análisis de varianza para la prueba del módulo de Young(GI: Grados libertad, F cociente de la estimación de los grupos comparados, P-valor : nivel de significancia)

Tabla ANOVA para Módulo de Young según Aditivos

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	4197.26	3	1399.09	2.74	0.0775
Intra grupos	8168.78	16	510.549		
Total (Corr.)	12366.0	19			

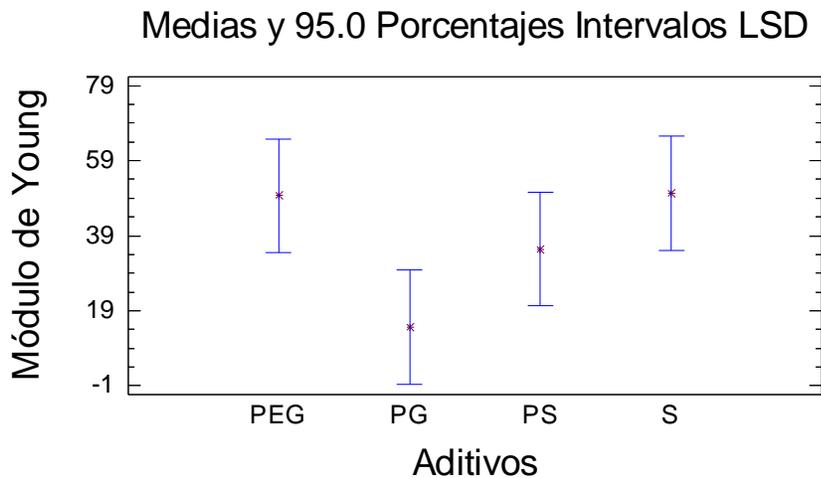
Tabla 12. Contraste múltiple de rango para la prueba del módulo de Young(PG: Propilenglicol, PEG: Polietilenglicol, Ps: Poliestireno espumado, S: sorbitol, LSD: Menores diferencias significativas de Fisher)

Contraste Múltiple de Rango para Módulo de Young según Aditivos

Método: 95.0 porcentaje LSD			
Aditivos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
PG	5	14.6318	X
PS	5	35.422	XX
PEG	5	49.6746	X
S	5	50.3046	X
Contraste			Diferencias +/- Límites
PEG - PG			*35.0428 30.2947
PEG - PS			14.2526 30.2947
PEG - S			-0.63 30.2947
PG - PS			-20.7902 30.2947
PG - S			*-35.6728 30.2947
PS - S			-14.8826 30.2947

* indica una diferencia significativa.

Gráfico 3. Diferencia de medias para la prueba del módulo de Young en un intervalo de confianza de 95%(PEG: Polietilenglicol, PG: Propilenglicol, PS: Poliestireno espumado, S: Sorbitol)



4.3.4 Porcentaje de deformación

En la Tabla 13 se representan los datos de los análisis de varianza obtenidos para el porcentaje de deformación. Se aprecia también que el valor de P-valor es de 0.2647, por lo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las probetas evaluadas con un intervalo de confianza de 95%. En la Tabla 14 puede verse que, de las probetas evaluadas, las acondicionadas con propilenglicol presentaron valores mayores en lo que se refiere al porcentaje de deformación, con un valor de media de 6.151. El valor menor de media en esta propiedad lo obtuvieron las probetas de esponja de quitina acondicionadas con propilenglicol con un valor de media de 3.3896. Por otro lado, se pudo constatar que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ningún agente plastificante para esta prueba.

En el Gráfico 4 se representa la inexistencia de alguna diferencia entre las probetas acondicionadas con los tres agentes aditivos (sorbitol, propilenglicol y polietilenglicol) y las probetas elaboradas a partir de poliestireno espumado.

Tabla 13. Análisis de varianza para la prueba de porcentaje de deformación (Gl: Grados libertad, F cociente de la estimación de los grupos comparados, P-valor : nivel de significancia)

Tabla ANOVA para Porcentaje de deformación según Aditivos

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	36.5589	3	12.1863	1.45	0.2647
Intra grupos	134.178	16	8.38613		
Total (Corr.)	170.737	19			

Tabla 14. Contraste múltiple de rango para la prueba de porcentaje de deformación (PG: Propilenglicol, PEG: Polietilenglicol, Ps: Poliestireno espumado, S: sorbitol, LSD: Menores diferencias significativas de Fisher)

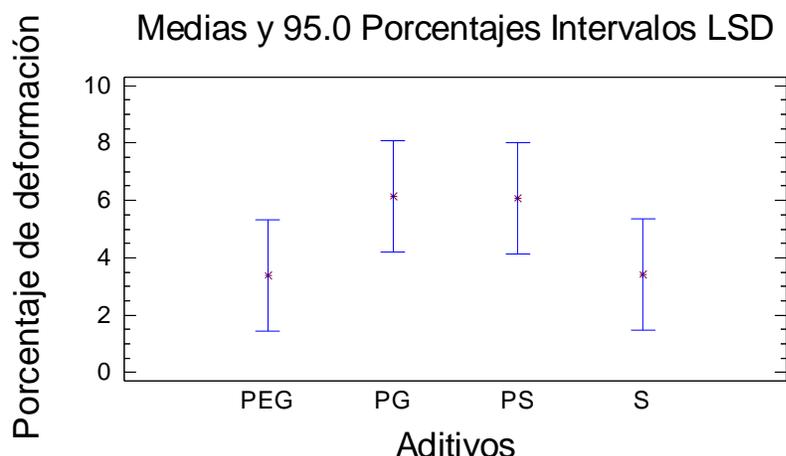
Contraste Múltiple de Rango para Porcentaje de deformación según Aditivos

Método: 95.0 porcentaje LSD			
Aditivos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
PEG	5	3.3896	X
S	5	3.4258	X
PS	5	6.0704	X
PG	5	6.1516	X

Contraste	Diferencias	+/- Limites
PEG - PG	-2.762	3.88265
PEG - PS	-2.6808	3.88265
PEG - S	-0.0362	3.88265
PG - PS	0.0812	3.88265
PG - S	2.7258	3.88265
PS - S	2.6446	3.88265

* indica una diferencia significativa.

Gráfico 4. Diferencia de medias para la prueba de porcentaje de deformación en un intervalo de confianza de 95%(PEG: Polietilenglicol, PG: Propilenglicol, PS: Poliestireno espumado, S: Sorbitol)



4.3.5 Tenacidad

Los análisis de varianza de la Tabla 15 corresponden a la **prueba de tenacidad** en la cual el valor P fue inferior al 0.05 (aunque en la tabla el valor que aparece es de 0.00 y este valor es numéricamente menor a 0.05) por lo que sí existen diferencias estadísticamente significativas.

En la Tabla 16 se enlistan los valores de tenacidad para las probetas evaluadas, siendo las probetas de poliestireno espumado las que presentan el valor mayor de medias de (0.048) y las probetas que presentan el menor de los valores para la tensión son las acondicionadas con polietilenglicol (0.0046). En la columna de grupos homogéneos de la misma tabla puede apreciarse que la posición de las “x”, que habla de la existencia de una diferencia estadísticamente significativa, es muy variable y solamente presenta la misma posición en las probetas acondicionadas con sorbitol y propilenglicol y las probetas acondicionadas con polietilenglicol y propilenglicol. En la parte inferior de la tabla se confirma lo anterior, ya que se representan con un asterisco las medias que muestran una diferencia

estadísticamente significativa y este asterisco se presenta en las probetas acondicionadas con los tres diferentes agentes aditivos comparadas con las probetas de poliestireno espumado.

En el Gráfico 5 se muestra claramente que ninguna de las probetas de quitina acondicionadas con los tres aditivos en proporción 1:10 se acerca en lo más mínimo a las probetas de poliestireno espumado de uso comercial en esta prueba mecánica de tenacidad. Puede confirmarse que existen diferencias estadísticamente significativas entre las probetas elaboradas a partir de exoesqueleto de camarón acondicionadas con los tres distintos aditivos en estudio y las probetas de poliestireno espumado para esta prueba. Esto indica que es necesario buscar otro aditivo que sí le de la rigidez deseable a las esponjas de quitina (especialmente si se desean usar para fabricar “charolitas” para alimentos).

Tabla 15. Análisis de varianza para la prueba de tenacidad (Gl: Grados libertad, F cociente de la estimación de los grupos comparados, P-valor : nivel de significancia)

Tabla ANOVA para Tenacidad según Aditivos

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0.0056932	3	0.00189773	33.44	0.0000
Intra grupos	0.000908	16	0.00005675		
Total (Corr.)	0.0066012	19			

Tabla 16. Contraste múltiple de rango para al prueba de tenacidad(PG: Propilénglicol, PEG: Polietilenglicol, Ps: Poliestireno espumado, S: sorbitol, LSD: Menores diferencias significativas de Fisher)

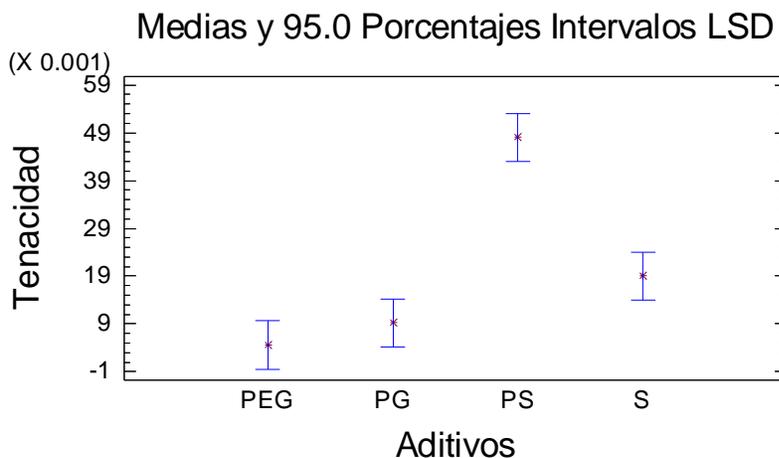
Contraste Múltiple de Rango para Tenacidad según Aditivos

Método: 95.0 porcentaje LSD			
Aditivos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
PEG	5	0.0046	X
PG	5	0.0092	XX
S	5	0.019	X
PS	5	0.048	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
PEG - PG	-0.0046	0.0101002
PEG - PS	*-0.0434	0.0101002
PEG - S	*-0.0144	0.0101002
PG - PS	*-0.0388	0.0101002
PG - S	-0.0098	0.0101002
PS - S	*0.029	0.0101002

* indica una diferencia significativa.

Gráfico 5. Diferencia de medias para la prueba de tenacidad en un intervalo de confianza de 95%(PEG: Polietilenglicol, PG: Propilenglicol, PS: Poliestireno espumado, S: Sorbitol)



4.3.6 Límite elástico

Como ya se mencionó antes, de los datos experimentales obtenidos se pudo calcular una sexta propiedad mecánica, el límite elástico. En la Tabla 17 se aprecian los análisis de varianza realizados para la propiedad de límite elástico observándose que, en el caso de esta propiedad, el valor P-valor es de 0.0589 debido a que el parámetro para determinarla no muestra diferencias estadísticamente significativas entre las probetas evaluadas. En la Tabla 18 se encuentran enlistados los valores de las medias para la prueba de límite elástico para las probetas evaluadas, encontrándose que el valor mayor de dicha propiedad mecánica es correspondiente a las probetas de poliestireno espumado con un valor de 6.88 y la probeta a la que le corresponde el valor menor es la que fue acondicionada con polietilenglicol con un valor de 2.6868. En el apartado de grupos homogéneos se encuentra que las “x” están en la misma posición para las probetas acondicionadas con sorbitol y con polietilenglicol, por lo que para estas dos probetas no existe una diferencia estadísticamente significativa para el límite elástico. Las probetas acondicionadas con sorbitol presentan dos “x”, por lo que pueden o no tener diferencias significativas con las probetas acondicionadas con polietilenglicol y con las probetas de poliestireno espumado. Esto se refleja en el valor de 0.05, el cual es solamente ligeramente mayor, por lo que la diferencia estadísticamente significativa puede establecerse según el criterio del experimentador. En la parte inferior de la Tabla 18 solamente se ve que existe un par de diferencias estadísticamente significativas entre las probetas acondicionadas con propilenglicol y polietilenglicol y las probetas de poliestireno espumado y las probetas acondicionadas con polietilenglicol.

Tabla 17. Análisis de varianza para la prueba de límite elástico(Gl: Grados libertad, F cociente de la estimación de los grupos comparados, P-valor : nivel de significancia)

Tabla ANOVA para Límite elástico según Aditivos

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	59.2723	3	19.7574	3.05	0.0589
Intra grupos	103.663	16	6.47894		
Total (Corr.)	162.935	19			

Tabla 18. Contraste múltiple de rango para la prueba de límite elástico (PG: Propilenglicol, PEG: Polietilenglicol, Ps: Poliestireno espumado, S: sorbitol, LSD: Menores diferencias significativas de Fisher)

Contraste Múltiple de Rango para Límite elástico según Aditivos

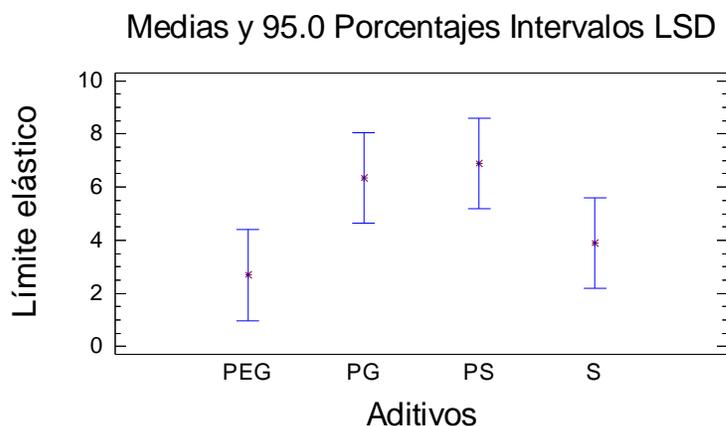
Método: 95.0 porcentaje LSD			
Aditivos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
PEG	5	2.6868	X
S	5	3.9042	XX
PG	5	6.3334	X
PS	5	6.88	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
PEG - PG	*-3.6466	3.41271
PEG - PS	*-4.1932	3.41271
PEG - S	-1.2174	3.41271
PG - PS	-0.5466	3.41271
PG - S	2.4292	3.41271
PS - S	2.9758	3.41271

* indica una diferencia significativa.

En el Gráfico 6 se presenta la información que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre dos de las probetas acondicionadas (sorbitol y propilenglicol) y las elaboradas a base de materiales sintéticos (probetas de poliestireno espumado).

Gráfico 6. Diferencia de medias para la prueba de límite elástico en un intervalo de confianza de 95%(PEG: Polietilenglicol, PG: Propilenglicol, PS: Poliestireno espumado, S: Sorbitol)



En la Tabla 19 se muestra un comparativo de las propiedades mecánicas de las probetas acondicionadas, del poliestireno puro y espumado y de las probetas de quitina sin acondicionar.

Utilizando los resultados promedio de cada una de las propiedades mecánicas realizadas, de acuerdo con los valores que se enlistan en esta tabla, se puede observar que los tres diferentes aditivos que se utilizaron modifican algunas de las propiedades mecánicas de las esponjas que fueron acondicionadas, siendo el sorbitol el que produce espumas que se asemejan en mayor proporción en sus valores con los obtenidos para el poliestireno espumado.

En la Tabla 20 se resumen los resultados estadísticos obtenidos al evaluar las propiedades mecánicas de las probetas acondicionadas con los tres diferentes aditivos estudiados (propilenglicol, polietilenglicol y sorbitol adicionados en una proporción 1:10) elaboradas con quitina de origen natural y su comparación con un polímero sintético, el poliestireno espumado de uso comercial.

Tabla 19. Comparación de las propiedades mecánicas de las probetas acondicionadas con polietilenglicol, propilenglicol y sorbitol con probetas de poliestireno puro y espumado y con las probetas de espuma de quitina sin acondicionar

Comparación de propiedades mecánicas					
MATERIAL	TENSIÓN DE RUPTURA (MPa)	% DE DEFORMACIÓN	MÓDULO DE YOUNG (MPa)	LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	Tenacidad (MPa)
PS PURO	48.71	6.08	1542		1.61
PS ESPUMADO	1.14	6.60	35.42	6.88	0.04
SPQ	0.11	33.93	3.77	0.2	0.04
SPQ-PG	0.374	6.552	14.63	6.33	0.009
SPQ-S	1.28	3.42	50.31	3.90	0.019
SPQ-PEG	0.67	3.39	49.67	2.68	0.005

Ps: poliestireno espumado

SPQ: esponja de quitina

SPQ-PG: esponja de quitina acondicionada con propilenglicol

SPQ-S: esponja de quitina acondicionada con sorbitol

SPQ-PEG: esponja de quitina acondicionada con polietilenglicol

Tabla 20. Resumen de resultados estadísticos para agentes aditivos

	Aditivo	Propiedad mecánica	Existe diferencia estadísticamente significativa	No existe diferencia estadísticamente significativa
Poliestireno espumado	sorbitol	Tensión en la carga máxima		X
poliestireno espumado	sorbitol	Tensión en el punto de ruptura		X
poliestireno espumado	sorbitol	Módulo de Young		X
poliestireno espumado	sorbitol	Porcentaje de deformación		X
poliestireno espumado	sorbitol	Tenacidad	X	
poliestireno espumado	sorbitol	Límite elástico		X
Poliestireno espumado	propilénglicol	Tensión en la carga máxima	X	
poliestireno espumado	propilénglicol	Tensión en el punto de ruptura	X	
poliestireno espumado	propilénglicol	Módulo de Young		X
poliestireno espumado	propilénglicol	Porcentaje de deformación		X
poliestireno espumado	propilénglicol	Tenacidad	X	
poliestireno espumado	propilénglicol	Límite elástico		X
poliestireno espumado	polietilenglicol	Tensión en la carga máxima	X	
poliestireno espumado	polietilenglicol	Tensión en el punto de ruptura		X
poliestireno espumado	polietilenglicol	Módulo de Young		X
poliestireno espumado	polietilenglicol	Porcentaje de deformación		X
poliestireno espumado	polietilenglicol	Tenacidad	X	
poliestireno espumado	polietilenglicol	Límite elástico	X	

Primero se enlistan en la Tabla 20 las seis propiedades mecánicas (tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, módulo de Young, porcentaje de deformación, tenacidad y límite elástico) de las probetas acondicionadas con sorbitol, comparadas con las de poliestireno espumado. Se encontró que, en cinco de las seis pruebas realizadas, no se

encontraron diferencias estadísticamente significativas con el poliestireno espumado. Las propiedades en las que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas fueron: tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, módulo de Young, porcentaje de deformación, y límite elástico y la única propiedad mecánica en la que se encontró una diferencia estadísticamente significativa fue la que correspondió a la tenacidad. Sería, por tanto, interesante reevaluar en experimentos futuros a este aditivo para tratar de mejorar la tenacidad de las espumas acondicionadas con el sorbitol.

En la misma tabla se enlistan las propiedades mecánicas evaluadas de las probetas acondicionadas con propilenglicol comparadas con las probetas de poliestireno espumado. De acuerdo con los resultados estadísticos obtenidos sólo se encuentran diferencias significativas en tres de las seis propiedades evaluadas. Estas propiedades son: tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura y tenacidad. En las pruebas mecánicas en las que no se encontró una diferencia estadísticamente significativa fueron en el módulo de Young, en el porcentaje de deformación y en el límite elástico. Este aditivo no resultó tan efectivo como el sorbitol.

Por último, se encuentran las propiedades mecánicas correspondientes a las probetas acondicionadas con polietilenglicol comparadas con las propiedades del poliestireno espumado, en donde se ve que no existió una diferencia estadísticamente significativa en tres de las propiedades evaluadas correspondientes a la tensión en el punto de ruptura, módulo de Young y porcentaje de deformación. Por el contrario, en las propiedades mecánicas en las que se encontraron diferencias estadísticamente significativas fueron las siguientes: tensión en la carga máxima, tenacidad y en el límite elástico. Al igual que el anterior, no resultó tan efectivo como el sorbitol.

4.4 Discusión final de resultados

La evaluación de las diferentes probetas de esponja de quitina elaboradas a partir de exoesqueleto de camarón y las probetas de poliestireno espumado, se llevó a cabo con la finalidad de encontrar una esponja de quitina empaque con las mismas características que presenta el poliestireno espumado de uso comercial, pero con la diferencia de que este empaque presenta, en condiciones apropiadas similares a las de los sitios de disposición controlada de basura, una excelente biodegradabilidad en un menor tiempo (2 semanas aproximadamente) que, comparada con la del poliestireno espumado (100 a 500 años), le da una enorme ventaja.

Al llevar a cabo la investigación, se encontró que es posible utilizar alrededor del 30% de materia que es considerada un desperdicio, la cabeza o cefalotórax y el exoesqueleto del camarón. Este “desperdicio” se sometió a distintos tratamientos para realizar su transformación hacia harina, la cual se utilizó como materia prima en la elaboración de esponjas de quitina. Una vez elaboradas las esponjas de quitina se llevó a cabo su acondicionamiento mediante la utilización de tres diferentes agentes aditivos (polietilenglicol, propilenglicol y sorbitol, todos en disolución acuosa) en una proporción de 1:10 (masa:volumen), durante 24 horas con un posterior secado a temperatura ambiente en el mismo periodo.

Se realizó un análisis estadístico con la finalidad de comprobar el efecto de los agentes aditivos incorporados a la esponja de quitina con respecto de las propiedades mecánicas de esas esponjas y las del poliestireno espumado.

La incorporación de los aditivos se hizo por inmersión en las soluciones acuosas. En el caso de la relación 1:10, se encontró que entre un 50 a 60% de la solución no se absorbía, por lo que sería conveniente en experimentos futuros probar las relaciones entre 1:5 y 1:10. Esta incorporación dependió directamente de la porosidad que presentaron las esponjas de quitina, ya que es en estos espacios es donde el agente aditivo es depositado. La porosidad de las esponjas de quitina fue directamente proporcional al tiempo de agitación, una variable que no se controló en esta fase experimental. Ésta es otra área de oportunidad para futuros experimentos.

Las probetas de quitina una vez acondicionadas con los tres agentes aditivos plastificantes y las probetas de poliestireno espumado de uso comercial, se sometieron a cinco diferentes pruebas mecánicas para su caracterización física y su posterior comparación con las probetas de poliestireno espumado. De los resultados obtenidos, fue posible obtener una sexta característica, el límite elástico. Del estudio comparativo estadístico (software Statgraphics Plus versión 5.1. que utiliza el método de las menores diferencias significativas de Fisher, LSD, por sus siglas en inglés para las medias de todas ellas), fue posible discernir cuál de los tres aditivos estudiados dio las probetas con las mejores características mecánicas cuando se compararon con las del control de poliestireno espumado.

Con la información de la Tabla 19 se presentan los valores numéricos obtenidos como resultado de la evaluación de las propiedades mecánicas. Para la propiedad de tensión a la ruptura, se encontró que el valor de esta propiedad para las probetas acondicionadas con sorbitol fue de 1.28MPa y las probetas elaboradas con poliestireno espumado fue de 1.14MPa. Los valores obtenidos fueron muy semejantes ya que solo varían en las cifras decimales, siendo mayor el valor obtenido por las probetas acondicionadas con sorbitol, por lo que dichas probetas presentaron una mayor resistencia a romperse que las elaboradas con poliestireno espumado.

Para la propiedad de porcentaje de deformación la probeta acondicionada que obtuvo un valor numérico semejante a las elaboradas con poliestireno espumado, fueron las probetas acondicionadas con propilenglicol con un valor de 6.552% mientras que las de poliestireno espumado presentaron un valor de 6.60%, por lo que las dos probetas tienen una resistencia a deformarse muy similar.

Para la propiedad del módulo de Young, los valores de las probetas acondicionadas no fueron semejantes a las de poliestireno espumado, dos de las probetas acondicionadas presentaron un valor mayor. Este fue el caso para las probetas acondicionadas con sorbitol (50.31 MPa) y las acondicionadas con polietilenglicol (49.67MPa), comparadas con el valor obtenido con las elaboradas con poliestireno espumado (35.42MPa). Al ser estos valores mayores, quiere decir, que las probetas acondicionadas presentan una mayor rigidez que las elaboradas con poliestireno espumado. Para la propiedad de límite elástico las

probetas acondicionadas con propilenglicol (6.33MPa) fueron las que obtuvieron un valor semejante a las elaboradas con poliestireno espumado (6.88MPa), por lo que ambas presentaron casi la misma tendencia de regresar a su forma original, al ser sometidas al ensayo de elasticidad.

Para la propiedad de tenacidad, las probetas acondicionadas, disminuyen el valor de tenacidad ya que el valor presentado por las esponjas sin acondicionar fue el mismo que el valor obtenido con las probetas elaboradas con poliestireno espumado, por lo que en esta propiedad todas las probetas acondicionadas presentaron una menor capacidad de absorber energía antes de romperse que las que no fueron acondicionadas.

Para la prueba de tensión en la carga máxima, no se encontraron valores reportados en la literatura para el poliestireno espumado de uso comercial, por lo que sólo se puede realizar la comparación a nivel estadístico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados en esta investigación, se determinaron seis propiedades mecánicas (tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, Módulo de Young, porcentaje de deformación, tenacidad y límite elástico) de las esponjas de quitina obtenidas a partir de exoesqueleto y cefalotórax de camarón fresco acondicionadas con tres diferentes agentes aditivos (sorbitol, propilenglicol y polietilenglicol) en una proporción masa:volumen de 1:10. Las mismas propiedades mecánicas se determinaron para un polímero de uso comercial (poliestireno espumado). Posteriormente se determinaron, si existían diferencias estadísticamente significativas en las propiedades mecánicas evaluadas, entre las esponjas de quitina acondicionadas con los tres agentes aditivos y el polímero sintético (poliestireno espumado) pudiéndose concluir lo siguiente:

- Se lograron obtener esponjas de quitina a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón.
- Se desarrolló un diseño experimental utilizando tres agentes aditivos en diferentes proporciones masa:volumen (polietilenglicol, sorbitol acuoso y propilenglicol), para obtener esponjas acondicionadas con la textura adecuada que se asemeje más a la de un polímero sintético como el poliestireno espumado.
- Una vez acondicionadas las probetas de quitina se logró su caracterización física a través de la realización de seis pruebas mecánicas (tensión en la carga máxima, tensión en el punto de ruptura, Módulo de Young, porcentaje de deformación, tenacidad y límite elástico) y, por medio de un análisis estadístico, se determinó que el agente aditivo que más semejanzas le confiere a las probetas de quitina con el poliestireno espumado es el sorbitol, ya que presenta solamente una propiedad (tenacidad), en la que la diferencia es estadísticamente significativa con respecto a la del poliestireno espumado.

5.2 Recomendaciones y estudios a futuro

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda una siguiente fase experimental en donde se pruebe la adición de los agentes aditivos en diferentes proporciones en un intervalo más cerrado (1:5 a 1:10).

También sería importante la selección de otro grupo de aditivos que se comparen con el sorbitol para que, al caracterizarlos mediante las mismas pruebas mecánicas no se presente ninguna diferencia significativa en las seis pruebas.

Se recomienda para un estudio posterior una forma de mecanizar el proceso de elaboración de las esponjas de quitina donde se pueda estandarizar el tamaño y la forma de dichas esponjas para facilitar tanto su obtención en el momento de la separación de la quitina de la solución como la etapa del aireado, ya que de esto depende su porosidad y, por tanto, la inclusión de los aditivos.

Todos estos estudios serían útiles para facilitar el proceso de obtención de un biopolímero biodegradable de quitina con propiedades semejantes a las de un polímero de origen sintético como el poliestireno espumado y sus futuras aplicaciones para la elaboración de recipientes desechables para alimentos (comida rápida o comida fresca empacada para su venta en supermercados).

GLOSARIO

A	Separación de las crucetas (mm o pulg/min)
A	área de la sección transversal del miembro del equipo en centímetros cuadrados
B	Distancia inicial entre las crucetas (mm o pulg)
C	Velocidad de deformación inicial (mm o pulg/min)
CEPD	Cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteïnizado
E	Módulo de elasticidad en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (módulo de Young)
<i>E</i>	Esfuerzo
<i>E</i>	Deformación total en centímetros
EPD	Harina de exoesqueleto parcialmente desproteïnizado
<i>f</i>	Esfuerzo en la probeta en kilogramos por centímetro cuadrado
<i>l₀</i>	Longitud inicial
F	Cociente de la estimación entre grupos comparados
<i>Gl</i>	Grados de libertad
<i>L</i>	Longitud de la probeta en centímetros
LSD	Menores diferencias significativas de Fisher
MAC-141	Por sus siglas en español <u>M</u> etanol, <u>A</u> gua y <u>C</u> loruro de calcio, en relación molar 1:4:1
<i>P</i>	fuerza aplicada en kilogramos
PEG	Polietilenglicol
PG	Propilénglicol
Ps	Poliestireno
P-valor	Nivel de significancia
S	Sorbitol
RP	Residuos peligrosos (esta tesis no manejo sustancias ni residuos peligrosos, con excepción de las probetas de poliestireno que desafortunadamente, se fueron con la basura “inorgánica”)
QUIMAC	quitina en solución como producto de la incubación y la filtración de la mezcla
<i>S</i>	Deformación unitaria en centímetros por cada centímetro
SPQ	Esponja de quitina
SPQ-PEG	Esponja de quitina acondicionada con polietilenglicol
SPQ-PG	Esponja de quitina acondicionada con propilenglicol
SPQ-S	Esponja de quitina acondicionada con sorbitol

APÉNDICE

A.1 Medición de anchura y espesor de las esponjas acondicionadas para la realización de las pruebas mecánicas

En las Tablas 21, 22 y 23 se enlistan los resultados obtenidos al medir la anchura y el espesor de las esponjas acondicionadas con los tres agentes aditivos.

Tabla 21. Mediciones de anchura y espesor a las esponjas acondicionadas con propilenglicol

Muestra acondicionada	Anchura (mm)	Espesor (mm)
1	10.26	0.06
2	10.28	0.14
3	8.90	0.15
4	9.94	0.19
5	9.30	0.12
6	9.48	0.26
7	10.51	0.13
8	9.26	0.16
9	10.69	0.10
10	9.76	0.10
11	10.70	0.10
12	9.53	0.17
13	9.60	0.32
14	9.82	0.15
15	9.60	0.13

Tabla 22. Mediciones de anchura y espesor a las esponjas acondicionadas con sorbitol

Muestra acondicionada	Anchura (mm)	Espesor (mm)
1	8.81	0.09
2	7.21	0.07
3	8.21	0.06
4	8.16	0.12
5	10.13	0.14
6	10.77	0.33
7	9.76	0.27
8	8.20	0.28
9	9.95	0.11
10	10.10	0.11
11	9.72	0.24
12	7.98	0.21
13	10.39	0.34
14	11.23	0.06
15	8.15	0.07

Tabla 23. Mediciones de anchura y espesor a las esponjas acondicionadas con polietilenglicol

Muestra acondicionada	Anchura (mm)	Espesor (mm)
1	9.82	0.17
2	9.71	0.31
3	10.31	0.85
4	8.15	0.44
5	9.95	0.32
6	8.15	0.40
7	10.64	0.34
8	8.64	0.43
9	9.68	0.21
10	8.87	0.15
11	7.48	0.63
12	9.45	0.23
13	8.50	0.42
14	8.51	0.45
15	7.26	0.38

A.2 Valores de las propiedades mecánicas evaluadas de las esponjas acondicionadas.

En las Tablas 24 a 26 se enlistan los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas.

Tabla 24. Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de las esponjas acondicionadas con propilenglicol

Ensayo	Tensión en la carga máxima(MPa)	Tensión en el Punto de ruptura (MPa)	Módulo de Young (MPa)	% Deformación en la carga máxima(MPa)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)
1	0.185	0.117	4.394	4.999	0.004	4.9
2	0.251	0.251	6.189	9.108	0.008	9
3	0.153	0.153	6.785	2.501	0.002	3.7
Promedio	0.196	0.174	5.789	5.536	0.005	5.867
Desv. Est	0.049	0.069	1.24	3.33	0.003	2.77
4	0.011	0.005	0.19	9.168	0.001	6
5	0.143	0.143	3.103	32.299	0.006	32.1
6	0.914	0.914	29.802	3.329	0.015	3
Promedio	0.356	0.354	11.032	14.932	0.007	13.700
Desv. Est	0.487	0.489858143	16.32070624	15.32099856	0.007094599	16.005312
7	2.191	2.191	105.945	4.168	0.05	4.2
8	0.152	0.152	6.023	2.501	0.001	2.5
9	0.248	0.248	6.212	1.792	0.006	
Promedio	0.864	0.864	39.393	2.820	0.019	3.350
Desv. Est	1.15	1.15	57.63	1.21	0.026	1.20
10	0.364	0.163	9.165	5	0.015	5.7
11	0.215	0.215	2.702	0.363	0.003	0.8
12	0	0	0	0	0	0
Promedio	0.289	0.189	5.9335	2.6815	0.009	3.25
Desv. Est	0.105	0.036	4.57	3.27	0.008	3.46
13	0.549	0.549	21.565	7.698	0.011	7.8
14	0.287	0.287	9.089	4.999	0.007	5.3
15	0.04	0.04	2.378	1.667	0	3.4
Promedio	0.292	0.292	11.011	4.788	0.006	5.500
Desv. Est	0.254	0.254	9.73	3.02	0.005	2.20

Tabla 25. Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de las esponjas acondicionadas con sorbitol

Ensayo	Tensión en la carga máxima(MPa)	Tensión en el punto de ruptura(MPa)	Módulo de Young (MPa)	% Deformación en la carga máxima(MPa)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)
1	0.138	0.105	4.518	3.329	0.003	3.2
2	2.486	2.486	77.397	3.329	0.03	3.6
3	1.72	1.72	16.509	8.736	0.023	9.3
Promedio	1.45	1.44	32.81	5.13	0.02	5.37
Desv. Est	1.197	1.215	39.078	3.122	0.014	3.412
4	3.674	3.674	154.319	2.501	0.039	7.5
5	0.556	0.295	23.114	4.168	0.017	4.2
6	0.724	0.724	29.371	2.501	0.006	2.5
Promedio	1.65	1.56	68.93	3.06	0.02	4.73
Desv. Est	1.754	1.840	74.011	0.962	0.017	2.542
7	2.012	2.012	80.485	2.501	0.015	2.5
8	0.917	0.917	12.695	5.986	0.008	6.2
9	2.433	1.586	106.333	2.501	0.043	2.45
Promedio	1.79	1.51	66.50	3.66	0.02	3.72
Desv. Est	0.783	0.552	48.359	2.012	0.019	2.151
10	1.709	1.709	68.446	2.501	0.015	2.5
11	0.886	0.886	35.683	2.501	0.009	2.65
12	0.945	0.945	36.862	2.501	0.008	2.97
Promedio	1.18	1.18	47.00	2.50	0.01	2.71
Desv. Est	0.459	0.459	18.585	0.000	0.004	0.240
13	0.765	0.765	35.02	2.501	0.009	2.7
14	0.775	0.663	31.374	2.501	0.015	2.49
15	1.37	0.725	42.443	3.329	0.043	3.8
Promedio	0.97	0.72	36.28	2.78	0.02	3.00
Desv.Est	0.346	0.051	5.641	0.478	0.018	0.704

Tabla 26. Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de las esponjas acondicionadas con polietilenglicol

Ensayo	Tensión en la carga máxima(MPa)	Tensión en el punto de ruptura(MPa)	Módulo de Young(MPa)	% Deformación en la carga máxima(MPa)	Tenacidad (MPa)	Límite elástico (MPa)
1	0.725	0.725	86.884	0.835	0.003	0.7
2	0.078	0.027	1.235	6.664	0.005	6.9
3	1.299	1.299	155.638	0.835	0.005	2.3
Promedio	0.701	0.684	81.252	2.778	0.004	3.300
Desv. Est	0.611	0.637	77.355	3.365	0.001	3.219
4	0.274	0.274	32.824	0.835	0.001	0.8
5	0.39	0.39	23.445	1.665	0.003	1.9
6	0.625	0.625	4.049	14.999	0.012	14.9
Promedio	0.430	0.430	20.106	5.833	0.005	5.867
Desv. Est	0.179	0.179	14.675	7.949	0.006	7.842
7	0.468	0.468	28.082	1.667	0.002	2.5
8	1.12	1.12	67.177	1.667	0.007	3.2
9	0.513	0.513	10.825	4.744	0.002	-5.1
Promedio	0.700	0.700	35.361	2.693	0.004	0.200
Desv. Est	0.364	0.364	28.873	1.777	0.003	4.603
10	1.581	1.581	189.39	0.835	0.006	2.1
11	0.67	0.67	40.187	1.667	0.005	0.8
12	0.888	0.888	53.279	1.667	0.003	2.1
Promedio	1.046	1.046	94.285	1.390	0.005	1.667
Desv. Est	0.476	0.476	82.623	0.480	0.002	0.751
13	0.368	0.368	0.916	6.84	0.004	3.3
14	0.564	0.564	33.822	1.667	0.005	1.5
15						
Promedio	0.466	0.466	17.369	4.254	0.005	2.400
Desv. Est	0.139	0.139	23.268	3.658	0.001	1.273

A.3 Gráficos obtenidos a partir del equipo Instron 5500R

En los Gráficos 7 a 27 se presentan los datos experimentales obtenidos con cada una de las probetas ensayadas.

Gráfico 7. Probetas 1, 2 y 3 elaboradas con poliestireno espumado

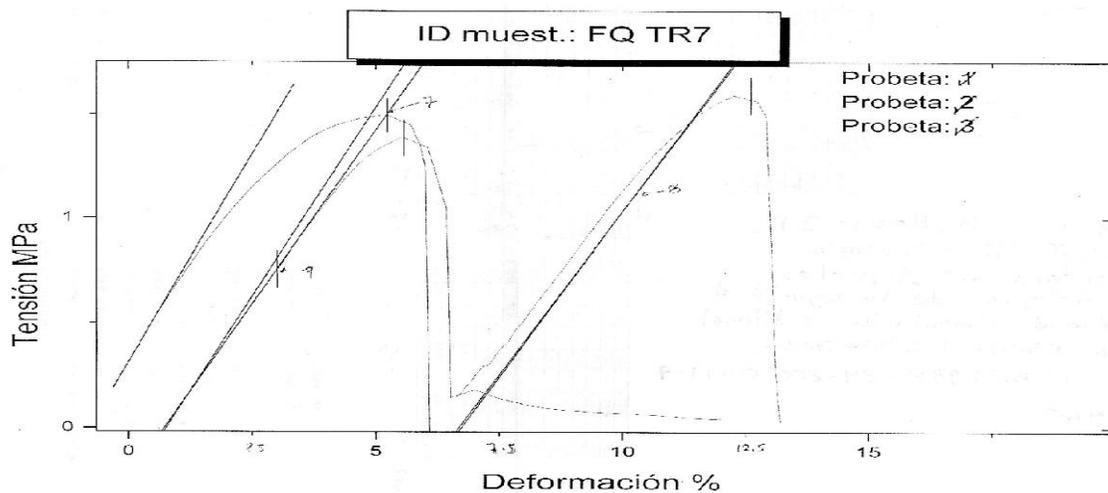


Gráfico 8. Probetas 4, 5 y 6 elaboradas con poliestireno espumado

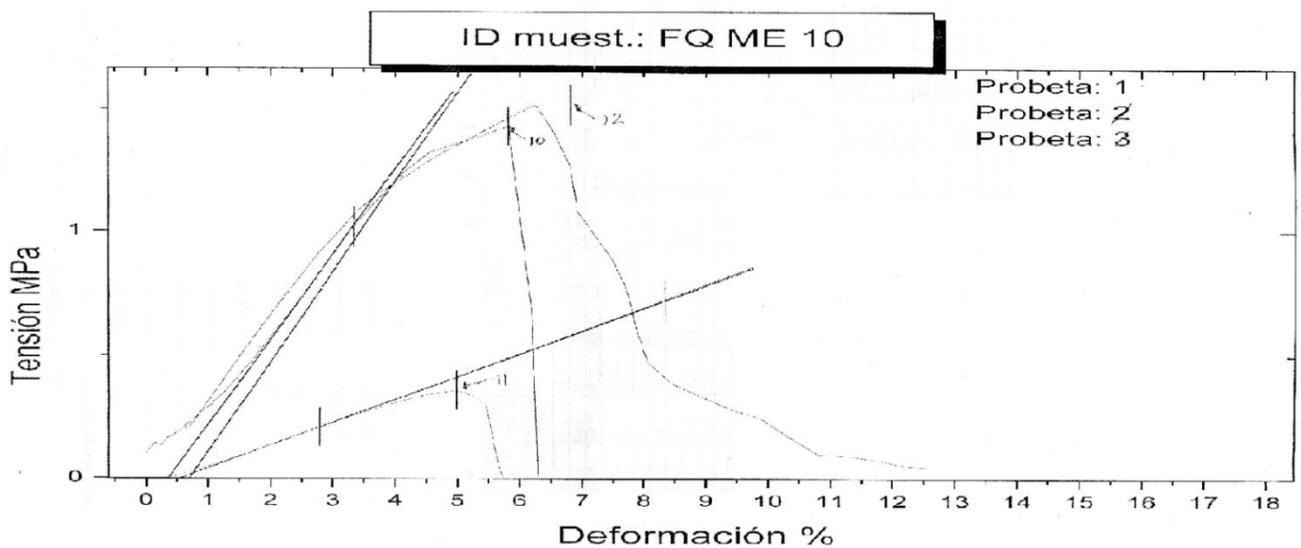


Gráfico 9. Probetas 7, 8 y 9 elaboradas con poliestireno espumado

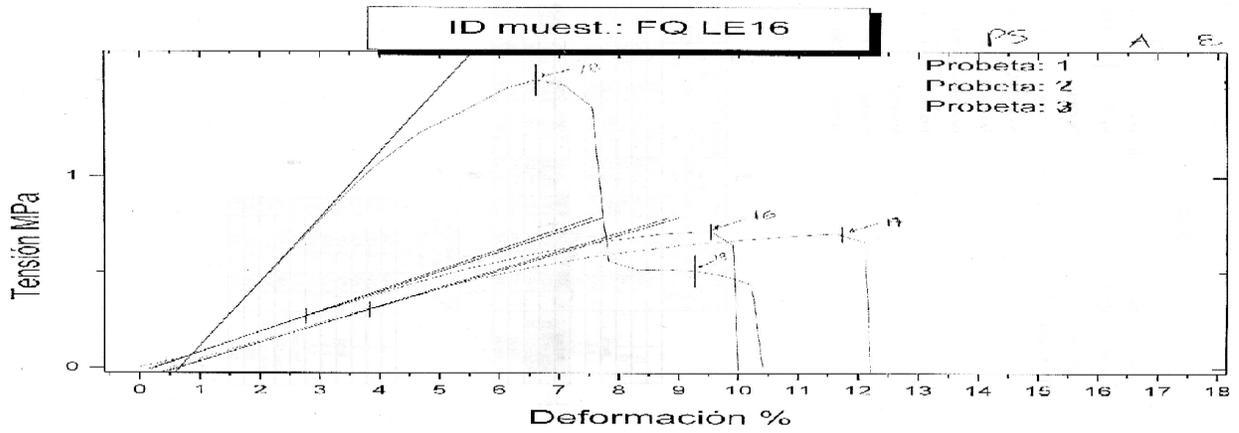


Gráfico 10. Probetas 10, 11, 12 y 13 elaboradas con poliestireno espumado

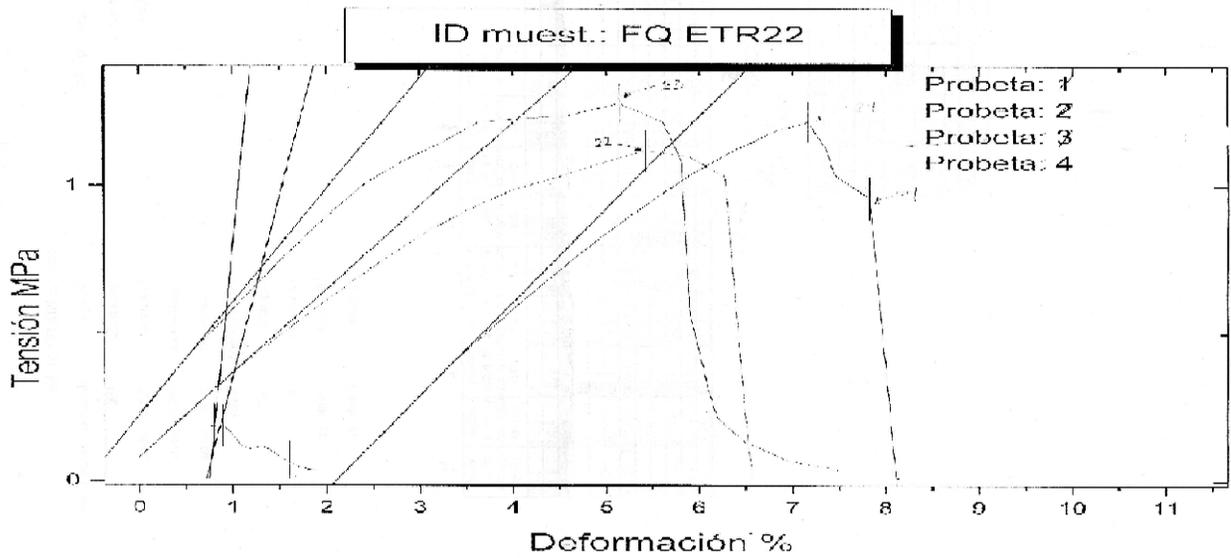


Gráfico 11. Probetas 14, 15 y 16 elaboradas con poliestireno espumado

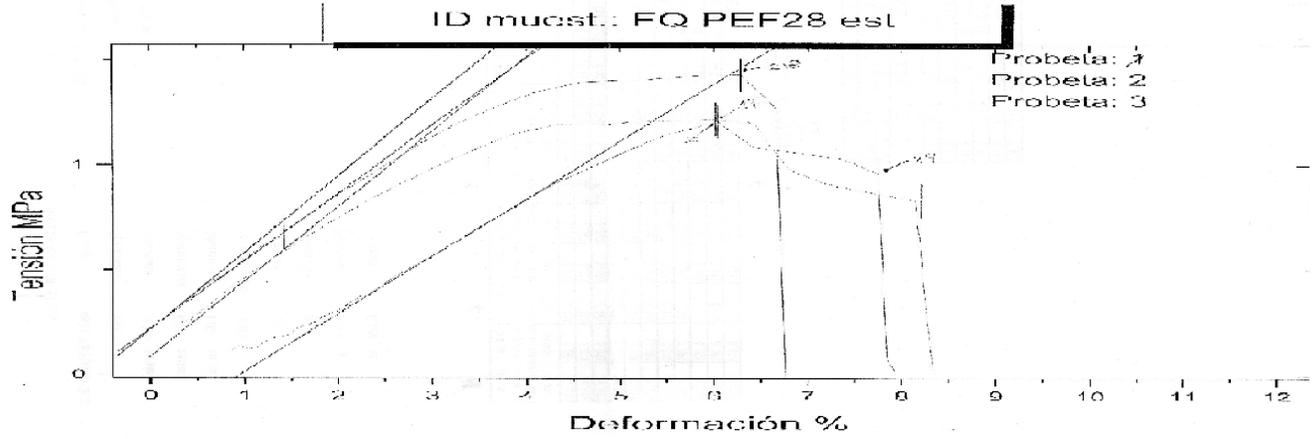


Gráfico 12. Probetas 1, 2 y 3 acondicionadas con propilenglicol

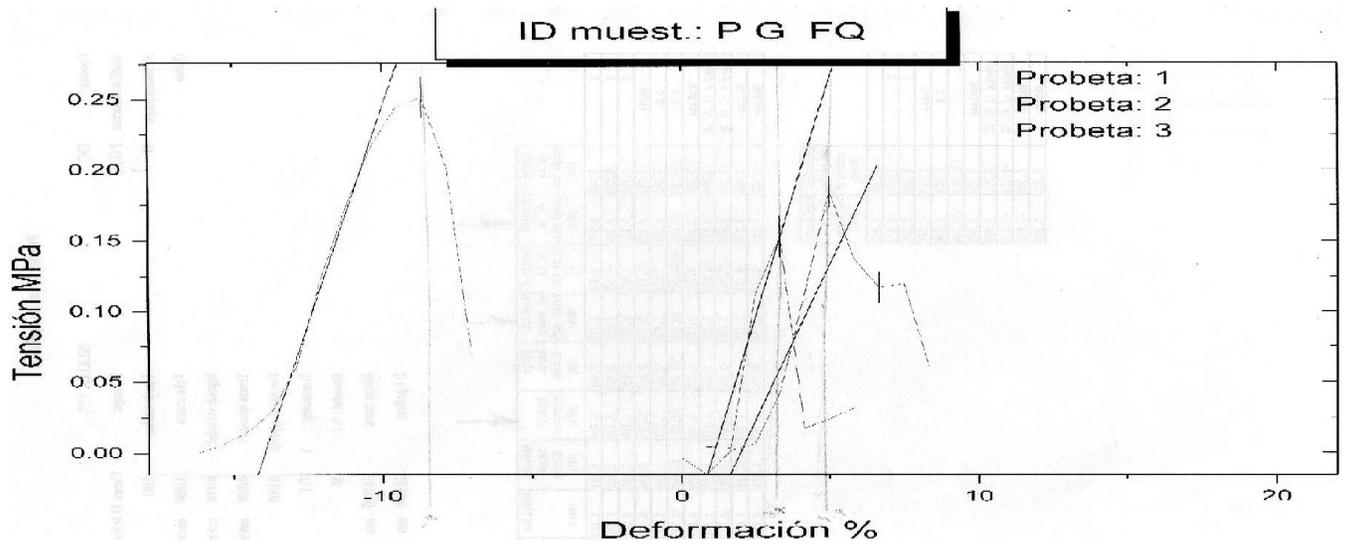


Gráfico 13. Probetas 4, 5 y 6 acondicionadas con propilenglicol

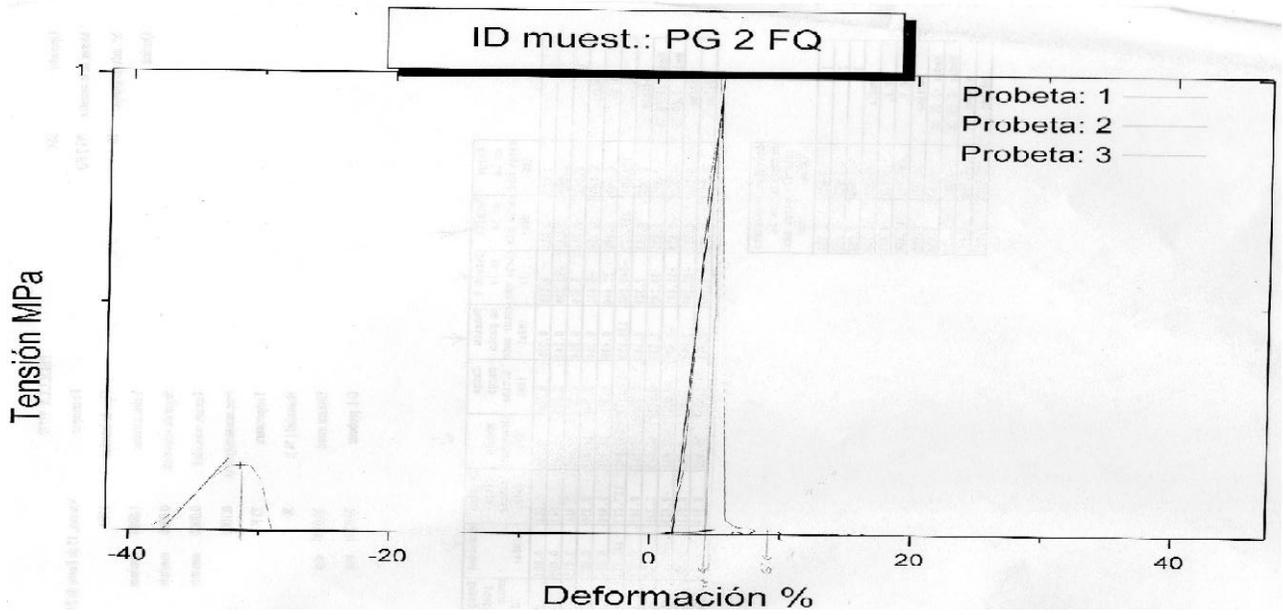


Gráfico 14. Probeta 7 acondicionadas con propilenglicol

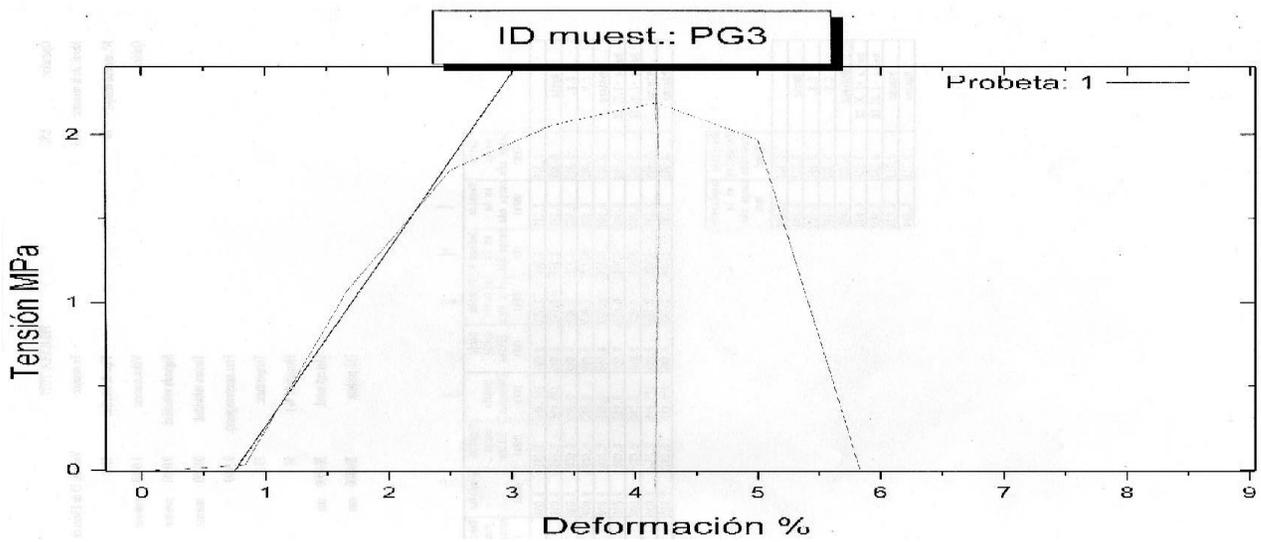


Gráfico 15. Probetas 8, 9 y 10 acondicionadas con propilenglicol

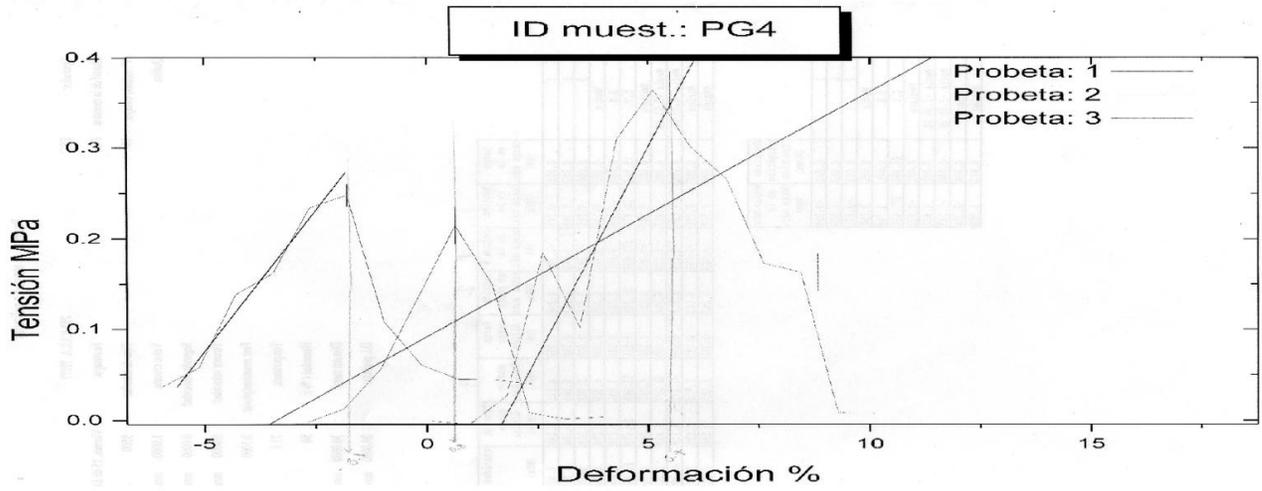


Gráfico 16. Probetas 11, 12 y 13 acondicionadas con propilenglicol

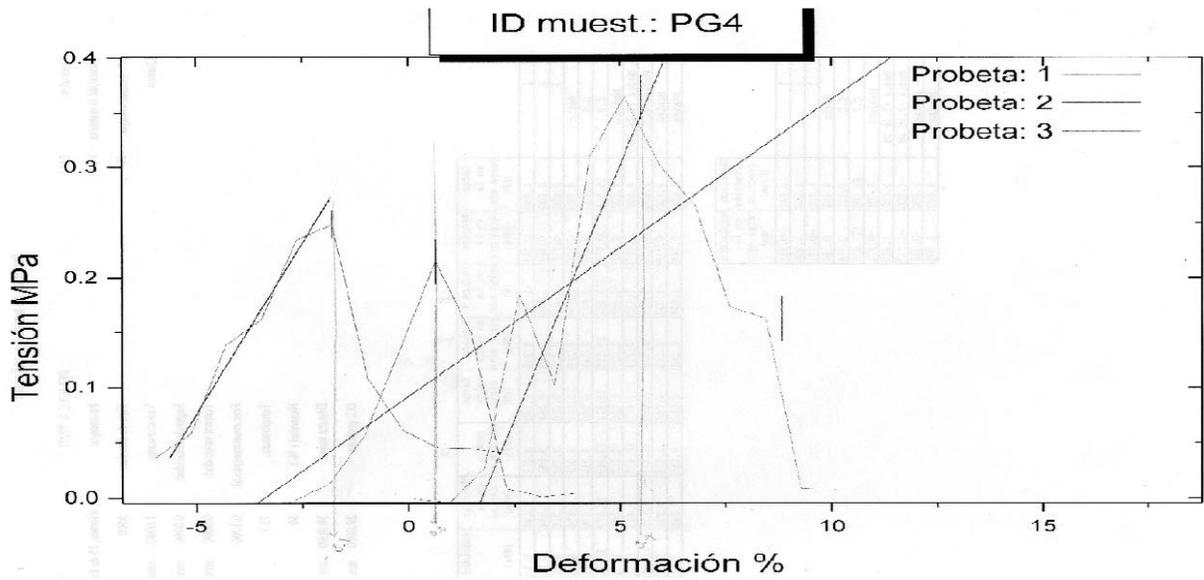


Gráfico 17. Probetas 14, 15 y 16 acondicionadas con propilenglicol

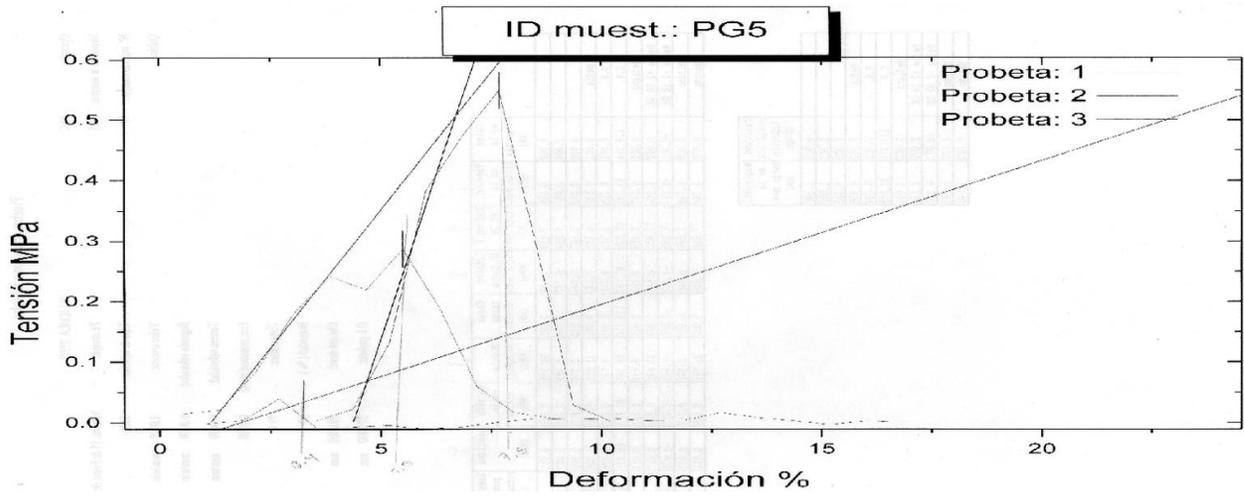


Gráfico 18. Probetas 1, 2 y 3 acondicionadas con sorbitol

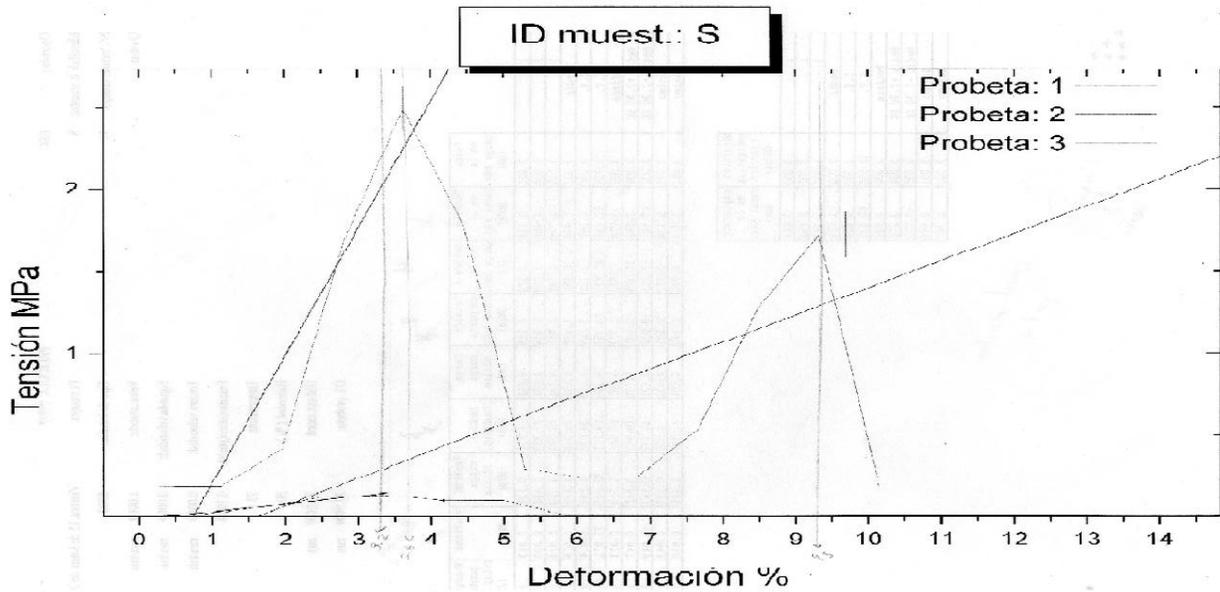


Gráfico 19. Probetas 4, 5 y 6 acondicionadas con sorbitol

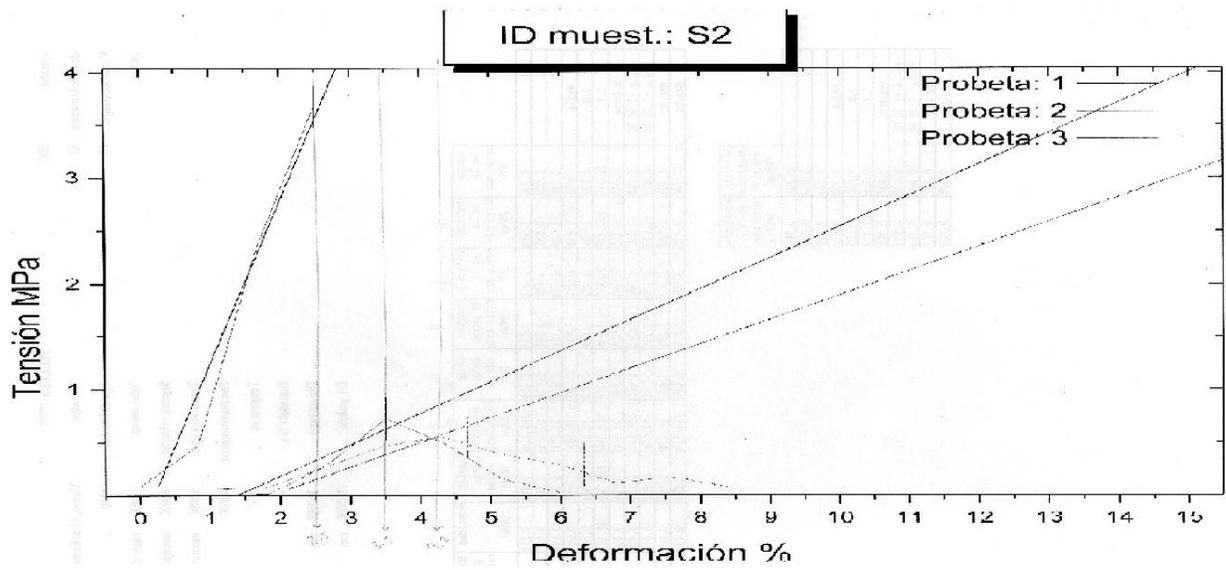


Gráfico 20. Probetas 7, 8 y 9 acondicionadas con sorbitol

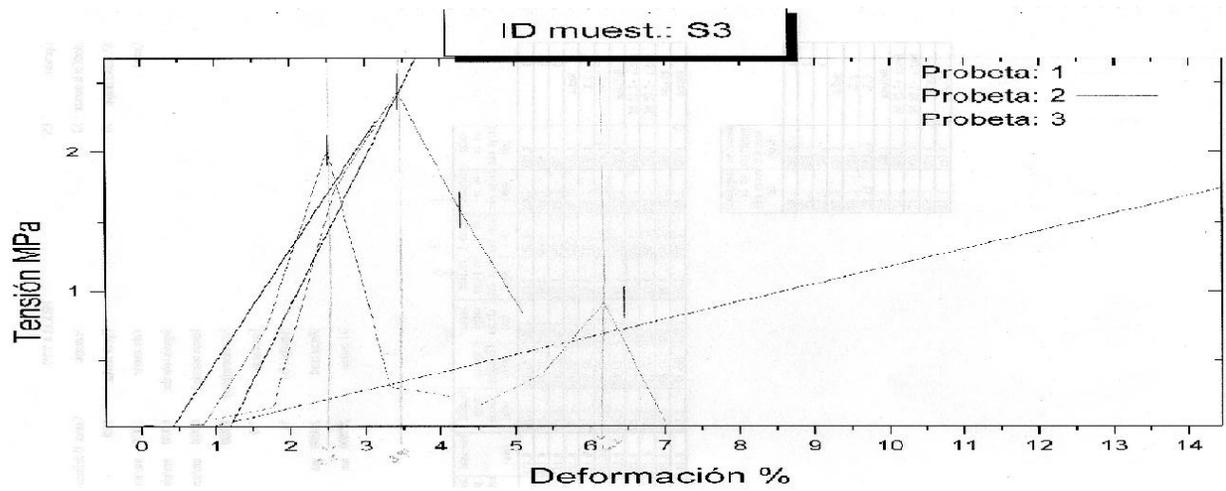


Gráfico 21. Probetas 10, 11 y 12 acondicionadas con sorbitol

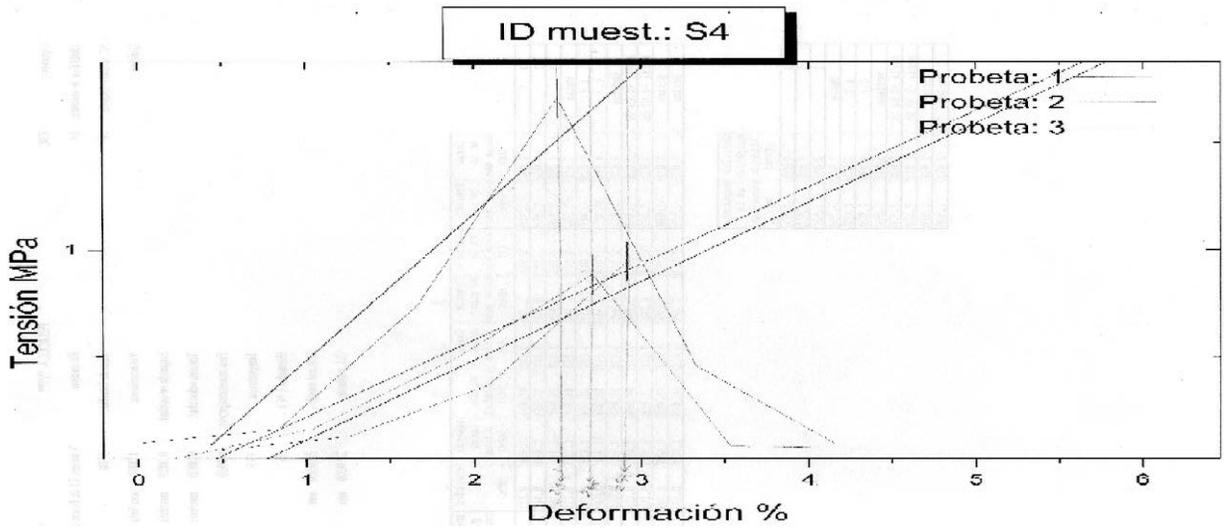


Gráfico 22. Probetas 13,14 y 15 acondicionadas con sorbitol

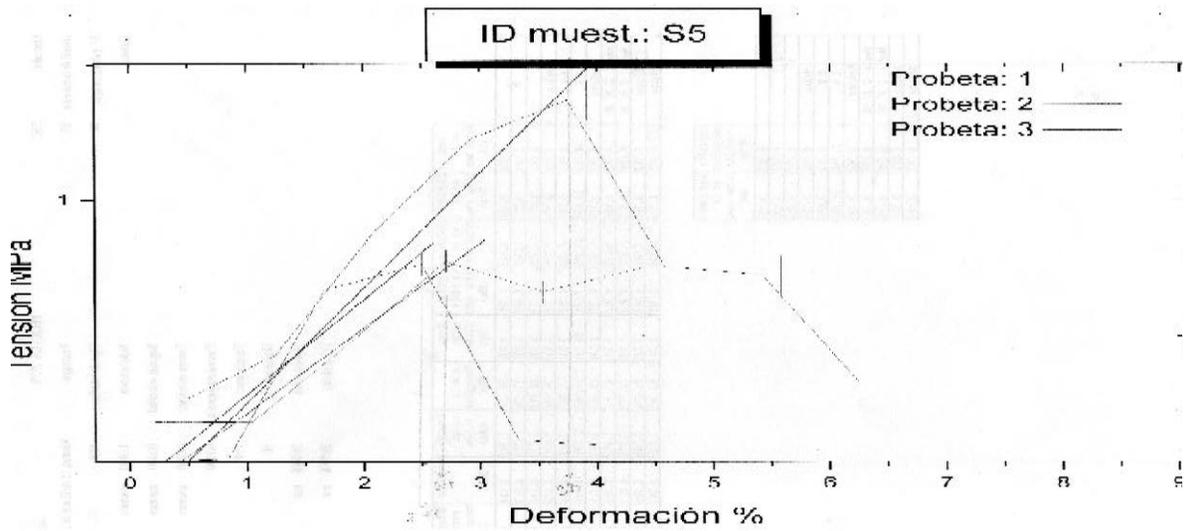


Gráfico 23. Probetas 1,2 y 3 acondicionadas con polietilenglicol

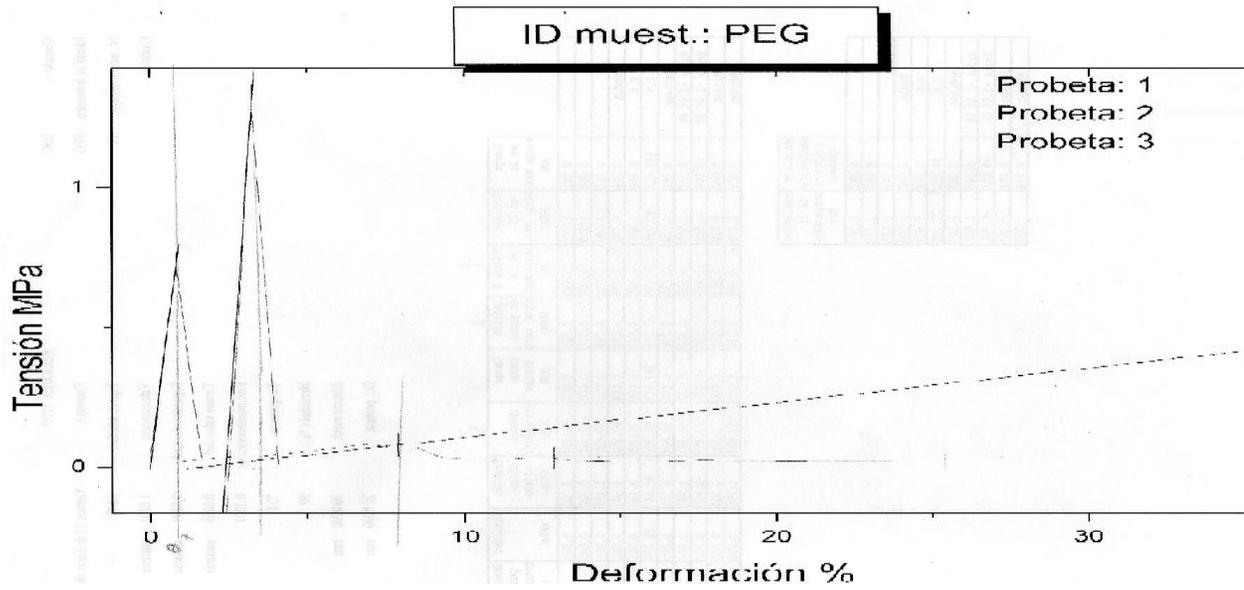


Gráfico 24. Probetas 4y 5 acondicionadas con polietilenglicol

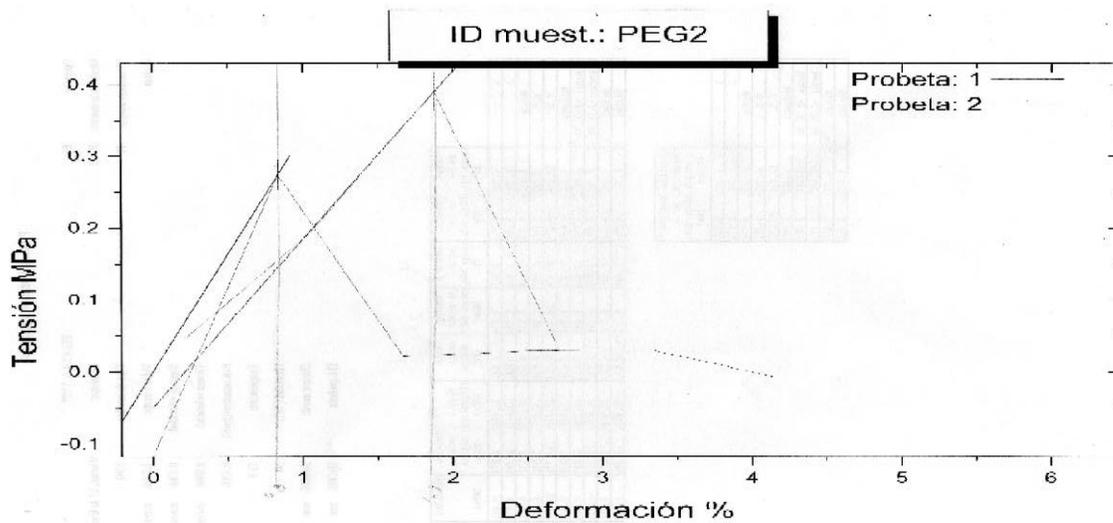


Gráfico 25. Probetas 6,7 y 8 acondicionadas con polietilenglicol

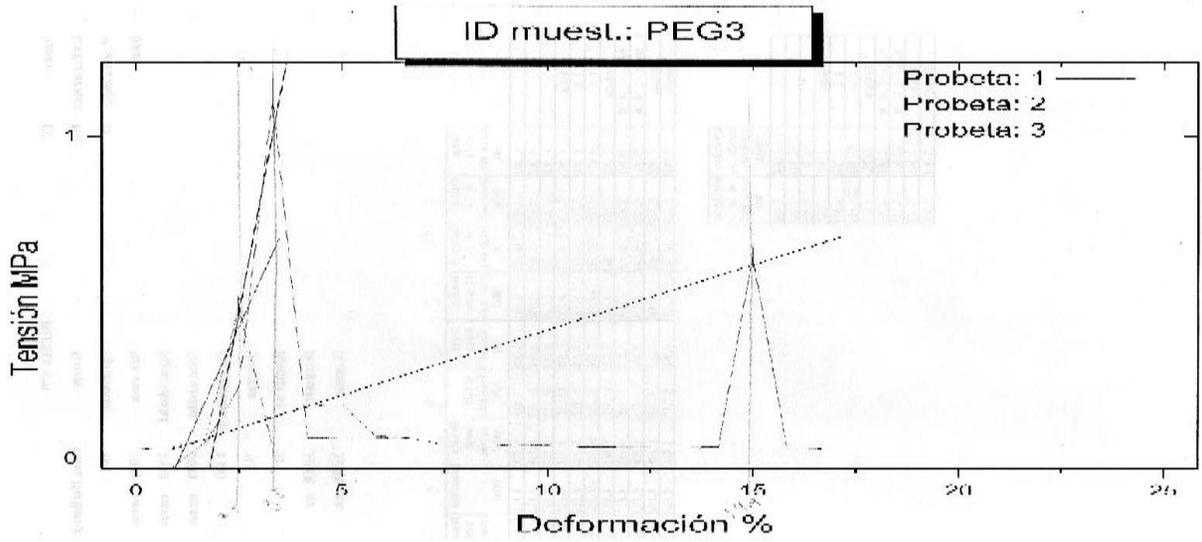


Gráfico 26. Probetas 9,10 y 11 acondicionadas con polietilenglicol

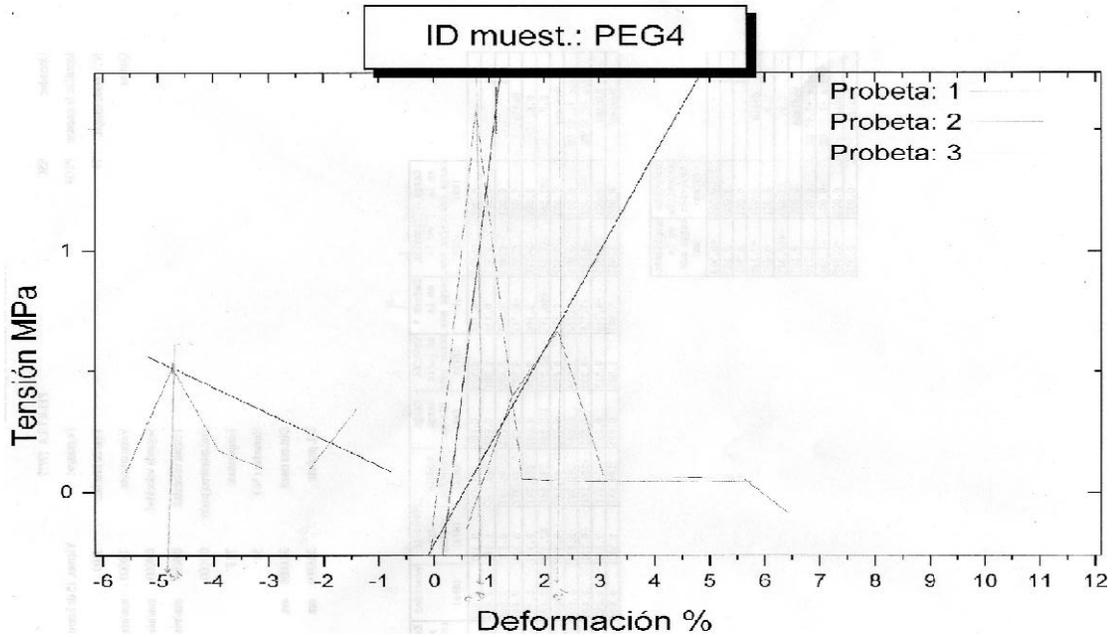
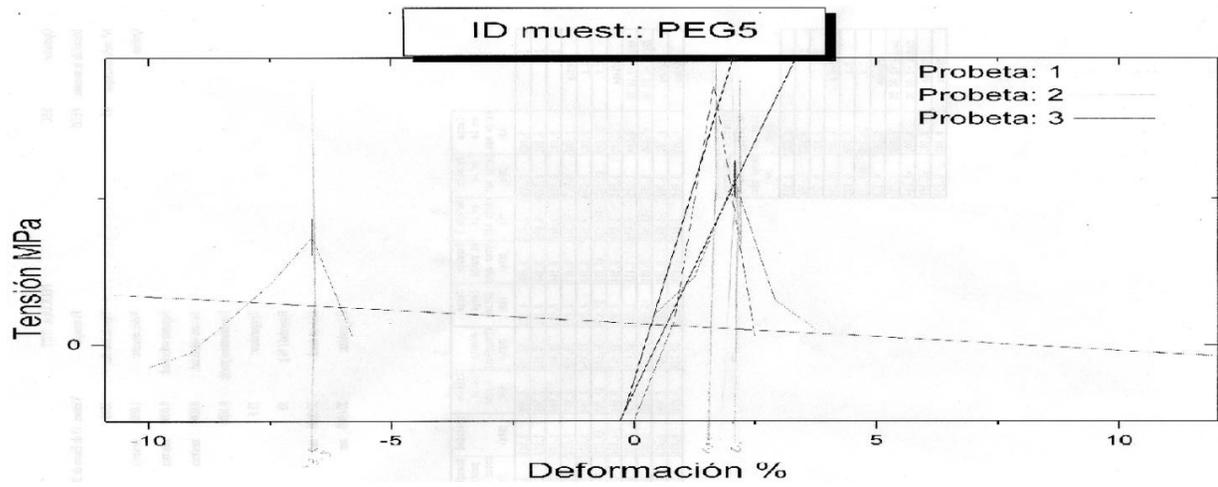


Gráfico 27. Probetas 12, 13 y 14 acondicionadas con polietilenglicol



BIBLIOGRAFÍA

Arias, O., Mendoza, A. Caracterización mecánica de un polímero de origen natural derivado de cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, D.F. México. 2010.

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

ATSM. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting D882-02. American Standard Testing and Materials. Washington D.C. EEUU. 2002.

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

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

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

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

Carrasco, M. Tratado de emergencias médicas. Vol. 2. Ed. Aran. Madrid, España. 2000.

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

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

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

Cubero, N., Monferer, A., Et al. Aditivos alimentarios. Colección Tecnología de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 2002.

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

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

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

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

Gerhertz, W. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5ª ed. Vol. A6. VCH. P. 231, Weinheim, República Federal de Alemania. 1986.

Hughes, C.C; Traducido. por Emilia Sevillano Calvo. Guía de aditivos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1994

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

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

Martínez-Tinajero, C., González-Filomeno, E., García-Gómez, R.S., Salas-Garrido, G., Constantino-Casas, F., Macías-Rosales, L., Gracia-Mora, M.I., Tovar-Palacios, C.T., Enríquez-Poy, M., Durán-de-Bazúa, C. Liver:body mass ratios of lab rats drinking water with caloric and hypo-caloric sweeteners added. En *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* Vol. 27. 7 . Disco compacto. Boca del Río, Veracruz, México. 2010.

Martínez-Tinajero, C. M., González-Filomeno, E., García-Gómez, R.S., Salas-Garrido, G., Constantino-Casas, F., Macías-Rosales, L., Gracia-Mora, M.I., Tovar-Palacios, C.T., Durán-de-Bazúa, C. Efecto de la ingesta de endulzantes hipocalóricos con el agua de beber en ratas de laboratorio comparada con dos controles (agua con y sin azúcar). ATAM (Asociación de Técnicos Azucareros de México, A.C.). 17(2):15-23, 2008.

Martínez-Tinajero, C., González-Filomeno, E., García-Gómez, R.S., Constantino-Casas, F., Macías-Rosales, L., Gracia-Mora, M.I., Durán-de-Bazúa, C. Riesgos sobre la ingesta crónica de algunos edulcorantes naturales. *Bebidas Mexicanas*, 16(4):12-14,16-20,22, 2007.

McMurry, J. Química Orgánica. 5° edición. Editorial Thomson, México D.F., México. 2001.

Miranda, P. Artículo publicado en Gaceta UNAM, Número 3801, 21 de abril de 2005. México D.F., México. 2005.

Mortensen, G. Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 10:52-68, 1999.

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

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

Rodríguez-Tarango, J.A. Pruebas de laboratorio para materiales de envase y embalaje. En Manual de ingeniería y diseño en envase y embalaje para la industria de alimentos, químico-farmacéutica y cosméticos. 3ª edición. Packaging, Ingeniería de Envase y Embalaje. México D.F. México. Capítulo Trece. Pp. 13:1-13.6, 1997.

Schmid S. R. Manufactura ingeniería y tecnología. 4°Ed. Editorial Pearson Educación. México D.F., México. 2002.

SSA. Ecología y Salud. Secretaría de Salud. Poder Ejecutivo Federal. Editorial Tláloc, México, D.F., México. 1974.

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

Villada, H. S., Acosta, H. A., Velasco, R. J. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Revisión bibliográfica. Temas agrarios* . 12(2):5-13, 2007.

Vicente, A. Los aditivos en los alimentos. Ediciones A.M.V. Mundi-Prensa. Zaragoza España. 2000a.

Vicente, A. Los aditivos en los alimentos según la Unión Europea y la Legislación Española. 1ª Edición. A.M.V. Mundi-Prensa. Zaragoza, España. 2000b.

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

Watson, D. H., Meah, M. N. Migración de sustancias químicas desde el envase al alimento. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1995.

De las redes internacionales:

Conde, M. 2007. Las promesas de la quitina. Mayo 2007 (En línea, disponible en la página http://www.ambienteplastico.com/artman/publish/printer_769.php; del internet. Fecha de consulta 5 de noviembre de 2009.

Demuner, M., Verdalet, I. 2004. *Envases, empaques y embalajes alimentarios*. La ciencia y el hombre. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. Vol. 17 (2) Mayo-Agosto, 2004 (En línea, disponible en la página <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol17num2/articulos/clima/index.htm>; del internet. Fecha de consulta 20 de junio de 2009)

Giusti S.M. Cuando el peligro viene en el empaque. El uso de las bandejas de corcho blancas de poliestireno representa un riesgo toxicológico para el consumidor 1994.(En línea, disponible en la página <http://www.eraecologica.org/msole/empaque.htm>) Fecha de consulta 23 febrero 2010.

Pastrana, E. Importancia industrial de la quitina. Bioquímica. Facultad de Ingeniería USCO, Colombia (En línea disponible en la página <http://eduardo-pastrana.blogspot.com/2010/02/importancia-industrial-de-la-quitina.html> del internet). Fecha de consulta 28 de febrero de 2010.

SAGARPA. Crece producción de camarón en México: mientras en el 2000 se obtenían 95 mil tons, para este año se proyectan 134 mil tons. 2 noviembre 2005. NUM 329/2005 (en línea disponible en la página <http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2005/noviembre/B329.pdf> del internet). Fecha de consulta 8 de Febrero de 2009.

Teisaire, C. L., Alderete, J. M. Cuando la solución proviene del mar (En línea disponible en la página <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/7225-cuando-la-solucion-proviene-del-mar> del internet) Fecha de consulta 2 de junio de 2009.
