

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA POR EL**  
**METODO ASTM E96/E 96M-05 EN PELICULAS DE QUITOSANO**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:**

**EVELIN ARACELI CARBALLO MEDRANO**

**EMERSON SAMUEL MARTINEZ BONILLA**

**PARA OPTAR AL GRADO DE**  
**LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA**

**MARZO 2010**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

**SECRETARIO**

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

**DECANO**

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

**SECRETARIA**

MSc. MORENA LIZETTE MARTINEZ DE DIAZ

**COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION**

**COORDINADORA GENERAL**

Lic. María Concepción Odette Rauda Acevedo

**ASESORA DE AREA DE ANALISIS DE ALIMENTOS: FISICOQUIMICO**

Ing. Rina Lavinia Hidalgo de Medrano

**ASESORA DE AREA DE APROVECHAMIENTO DE RECURSO NATURALES**

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez

**DOCENTE DIRECTOR**

Ing. Sergio Armando Maravilla Miranda

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación no hubiese sido posible sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaré:

**Mi familia** por su apoyo incondicional.

**Ing. Sergio Armando Maravilla Miranda** por su predisposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas, por sus substanciales sugerencias durante la redacción de la Tesis, por su asesoramiento científico y estímulo para seguir creciendo intelectualmente.

**Comité de trabajos de graduación** Lic. María Concepción Odette Rauda Acevedo, coordinadora general, Ing. Rina Lavinia Hidalgo de Medrano y MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez asesoras de área por sus orientaciones así como sus observaciones críticas en la redacción del trabajo.

**Personal de la sección de tesis e investigaciones profesionales** por posibilitar el desarrollo de la parte experimental en sus instalaciones y por haberme brindado todo lo que necesité sin ponerme ningún impedimento, al contrario, me han brindado siempre una sonrisa.

**Personal de la planta piloto de Empaque y Embalaje (CDIECAP)** por facilitarme el uso de su micrómetro y equipo para elongación en especial a la Ing. Haydee Munguía de Pérez técnico analista por brindarnos su guía y colaboración en el desarrollo del análisis de elongación.

**LA GEO** por facilitarme el uso de la lupa estereoscópica y a la geóloga Claudia Mejía de Molina por la obtención de las imágenes y observaciones, por atenderme siempre de forma amable y con una sonrisa.

**Familia Benítez y Lucy Rodríguez** por brindarme su apoyo, amistad y colaboración en todo momento, por tener siempre tendida su mano amiga, por su colaboración incondicional en el desarrollo de esta tesis, en fin, por darme cariño y amistad desde el día en que me conocieron.

**Personal de laboratorio, administrativo y demás** ya que dentro de los ámbitos que a cada uno le competen me han colaborado.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han

Evelin Carballo

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional durante todo el desarrollo del trabajo de graduación, en especial a mi madre Inés Bonilla<sup>†</sup> y mi padre Jorge Samuel Martínez por ser fuente de inspiración para que lograra culminar mi carrera universitaria y ser un profesional de bien en la sociedad.

Asimismo agradezco a todas aquellas personas e instituciones que fueron vitales para la finalización de este trabajo, las cuales merecen una mención especial de mi parte, a Ing. Sergio A. Maravilla, Evelin A. Carballo, al personal de la sección de Investigaciones y Tesis Profesionales, al Consejo de Becas Estudiantiles y al personal de la Planta Piloto de Embalaje y Empaque, asimismo al laboratorio de LA-GEO, a la coordinadora general de los procesos de graduación Lic. María C. Odette Rauda Acevedo y a las asesoras de área de esta investigación MSc. Sonia M. Lemus Martínez e Ing. Rina L. Hidalgo de Medrano.

EMERSON SAMUEL MARTINEZ BONILLA.

*“En el arte nada que merezca la pena se puede hacer sin ingenio, en la ciencia incluso una capacidad muy modesta puede contribuir a un logro superior”*

***Bertrand Russell***

*A todo aquel o aquella sin cuyo apoyo y/o impulso no  
hubiera podido alcanzar la cima de mi primer  
montaña*

*A aquellos/as que han luchado, luchan y lucharán  
para alcanzar sus metas.*

*Evelin*

## DEDICATORIA

A mis padres Inés Bonilla y Jorge Samuel Martínez quien durante muchos años han sostenido mis estudios inculcando en el transcurso valores morales y éticos. Por ello les dedico uno de los frutos más importantes de mi esfuerzo.

A mi novia Eriseldi Marili Menjívar quien en innumerables ocasiones ha sacrificado tiempo por mi perfeccionamiento en el área científica. Asimismo agradecer el conocimiento proporcionado por una persona tan importante y especial en mi vida. Finalmente a todos mis amigos, aquellos que fui ganando durante el transcurso de la carrera, los cuales se fueron sumando en mi memoria y que por ser demasiados, sus nombres no cabrían ni en todas las páginas de este trabajo de graduación al igual que los ánimos que me han regalado. Familia, bebita, docentes, amigos, compañeros e indignos esta investigación es dedicada a ustedes y ahora puedo decir ¡lo he logrado!

EMERSON SAMUEL MARTINEZ BONILLA.

## INDICE

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Resumen   |             |
| Capitulo I  |             |
| 1.0. Introducción   | xix         |
| Capitulo II   |             |
| 2.0. Objetivos  |             |
| Capitulo III  |             |
| 3.0. Marco teórico  | 24          |
| 3.1. Generalidades del quitosano  | 24          |
| 3.2. Fuentes de quitosano   | 25          |
| 3.3. Métodos de obtención   | 26          |
| 3.3.1. Obtención de quitosano partiendo de exoesqueletos de<br>crustáceos | 26          |
| 3.4. Aplicaciones del quitosano   | 31          |
| 3.4.1. Aplicaciones del quitosano en medicina y farmacia                  | 32          |
| 3.4.2. Aplicaciones del quitosano en la agricultura.                      | 33          |
| 3.4.3. Industria  | 34          |
| 3.4.4. Química analítica  | 34          |
| 3.4.4. Dietético  | 34          |
| 3.5. Habilidad del quitosano de formar películas                          | 34          |

|   |    |
|---|----|
| 3.6. Métodos de formación de película                               | 35 |
| 3.7. Mecanismos para formar películas                               | 36 |
| 3.8. Película, morfología y defectos                                | 36 |
| 3.9. Función de los plastificantes en la formación de películas     | 37 |
| 3.10. Propiedades del quitosano y de las películas de quitosano     | 38 |
| 3.10.1. Seguridad de películas de quitosano                         | 38 |
| 3.10.2. Biodegradación de quitosano y sus películas                 | 38 |
| 3.10.3. Propiedades mecánicas de las películas de quitosano         | 39 |
| 3.10.4. Propiedades de transporte de las películas de quitosano     | 40 |
| 3.11. Plastificantes  | 42 |
| 3.11.1 Glicerina  | 42 |
| 3.11.2. Aceite de oliva   | 44 |
| 3.12. Permeabilidad   | 46 |
| 3.12.1. Permeabilidad al vapor de agua                              | 47 |
| 3.12.1.1 Métodos de evaluación de la permeabilidad al vapor de agua | 48 |
| 3.12.1.1.1 Estándar ASTM internacional                              | 49 |
| <br>  |    |
| Capitulo IV   |    |
| 4.0. Diseño metodológico  | 53 |
| 4.1. Tipo de estudio  | 53 |
| 4.2. Investigación bibliográfica                                    | 54 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3. Investigación de campo  | 54 |
| 4.4. Universo y muestra  | 55 |
| 4.5. Parte experimental  | 55 |
| 4.5.1. Obtención del quitosano a partir de quitina                               | 56 |
| 4.5.2. Purificación del quitosano  | 57 |
| 4.5.3. Caracterización del quitosano   | 58 |
| 4.5.3.1. Grado de desacetilación   | 58 |
| 4.5.4. Elaboración de las películas  | 60 |
| 4.5.4.1. Preparación de la solución base de quitosano                            | 61 |
| 4.5.4.2. Preparación de las soluciones para películas de<br>quitosano compuestas | 59 |
| 4.5.4.3. Formación de las películas  | 63 |
| 4.5.5. Evaluación de las propiedades de las películas                            | 66 |
| 4.5.5.1. Instrumentos de recolección de datos                                    | 66 |
| 4.5.5.2. Medición del grosor   | 67 |
| 4.5.5.3. Textura de superficie   | 68 |
| 4.5.5.4. Medición de la elongación   | 68 |
| 4.5.5.5. Solubilidad   | 70 |
| 4.5.5.6. Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua                         | 71 |
| 4.5.6. Procesamiento de la información   | 73 |
| 4.5.7. Análisis e interpretación de los datos                                    | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| capitulo V   | 78  |
| 5.0. Resultados y análisis de datos                    | 79  |
| 5.1. Caracterización del quitosano                     | 79  |
| 5.1.1. Grado de desacetilación                         | 86  |
| 5.2. Evaluación de las propiedades de las películas    | 86  |
| 5.2.1. Medición del grosor                             | 89  |
| 5.2.2. Textura de superficie                           | 90  |
| 5.2.3. Medición de elongación                          | 94  |
| 5.2.4. Solubilidad                                     | 95  |
| 5.2.5. Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua | 118 |
| 5.3. Análisis estadístico                              | 118 |
| 5.3.1. Nivel 1   | 120 |
| 5.3.2. Nivel 2   | 124 |
| 5.3.3. Nivel 3   |     |
| Capitulo VI  | 127 |
| 6.0. Conclusiones                                      |     |
| Capitulo VII   | 131 |
| 7.0. Recomendaciones                                   |     |
| Bibliografía   |     |
| Anexos   |     |

## INDICE DE FIGURAS

| <b>Figura N°</b>  | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1. Representación esquemática de las cadenas de quitina totalmente acetilada y quitosano totalmente desacetilado. | 25          |
| 2. Diagrama de los ensayos mecánicos realizados a los films.  | 69          |
| 3. Gráfico primera valoración potenciométrica.  | 82          |
| 4. Gráfico primera derivada de 1ª valoración potenciométrica.   | 82          |
| 5. Gráfico segunda valoración potenciométrica.  | 83          |
| 6. Gráfico primera derivada de 2ª valoración potenciométrica.   | 83          |
| 7. Gráfico tercera valoración potenciométrica.  | 84          |
| 8. Gráfico primera deriva de 3ª valoración potenciométrica.   | 84          |
| 9. Gráfico comparativo de espesor de los diferentes tipos de películas.   | 87          |
| 10. Gráfico de resultados de los grosores de las diferentes películas para elongación.                            | 89          |
| 11. Gráfico alargamiento porcentual.  | 91          |
| 12. Gráfico carga máxima que tolera la película.  | 92          |
| 13. Gráfico de esfuerzo de tracción en el corte para cada film.   | 93          |
| 14. Gráfico permeabilidad vs tipos de películas en estudio.   | 117         |

## INDICE DE TABLAS

| <b>Tabla N°</b>  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 1. Códigos que corresponden a cada película  | 78          |
| 2. Resultados titulaciones del quitosano utilizado para la elaboración de las películas.                         | 80          |
| 3. Resumen de resultados del grado de desacetilación   | 85          |
| 4. Resultados de la medición del grosor de películas de quitosano para ensayo de permeabilidad.                  | 86          |
| 5. Resultados de la medición del grosor de películas de quitosano para ensayo de elongación.                     | 88          |
| 6. Resultados de la medición de elongación A% y ETC  | 90          |
| 7. Resultados del ensayo de solubilidad de las películas de quitosano.   | 94          |
| 8. Resultados del ensayo de permeabilidad, mediciones de peso de tubos de prueba.                                | 96          |
| 9. Aumentos experimentados por los tubos de prueba durante el ensayo de permeabilidad corregidos con el control. | 106         |
| 10. Resumen de los cálculos para permeabilidad.  | 116         |
| 11. Análisis de varianza película de glicerina 0.6% vs película de glicerina 1.2%.                               | 118         |

|   |     |
|---|-----|
| 12. Análisis de varianza película de aceite de oliva 0.6% vs película de aceite de oliva 1.2%.                          | 118 |
| 13. Análisis de varianza película de glicerina 0.6% vs película de glicerina 1.2%.                                      | 119 |
| 14. Análisis de varianza película de aceite de oliva 0.6% vs películas de aceite de oliva 1.2%.                         | 119 |
| 15. Análisis de varianza, sumas de cuadrados de tipo III, película moldeada en poliestireno con el 95 % de confianza.   | 120 |
| 16. Prueba de Tukey para plastificantes película moldeada en poliestireno.  | 121 |
| 17. Prueba de Tukey para concentración película moldeada en poliestireno.   | 121 |
| 18. Análisis de varianza, sumas de cuadrados de tipo III, película moldeada en teflón con el 95 % de confianza.         | 122 |
| 19. Prueba de Tukey para plastificantes película moldeada en teflón.  |     |
| 20. Prueba de Tukey para concentración película moldeada en teflón.   | 123 |
| 21. Análisis de varianza, sumas de cuadrados de tipo III, tipo de base utilizada en el moldeo con el 95 % de confianza. | 123 |
|   | 124 |

## RESUMEN

El quitosano es un polisacárido lineal biodegradable capaz de formar películas, siendo muy atractivo para el empleo como barrera de recubrimiento de alimentos frescos. En la presente investigación se evaluó la capacidad de barrera al vapor de agua de dicho polímero, sus propiedades mecánicas y de solubilidad.

En base a las necesidades buscadas la investigación se inicio a partir de la quitina para obtener quitosano mediante un proceso de desacetilación parcial, el quitosano obtenido fue de un grado de desacetilación igual a 92.58%. Posteriormente se prepararon diferentes soluciones de quitosano al 2% para el moldeado de las películas utilizando ácido acético al 1% como disolvente, empleando para algunas de ellas plastificantes como la glicerina o aceite de oliva. Las películas fueron moldeadas en dos tipos de base: poliestireno y teflón. Cada uno de los films se identificó mediante un código con el objeto de mantener su identidad. Luego del desmolde de cada película se realizaron los ensayos previstos: espesor, elongación, solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua por el Método ASTM E96/E 96M-05/desecante, el cual consistía en un análisis gravimétrico en función del tiempo y bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad relativa controladas. En cuanto a la textura de superficie el análisis fue realizado por los laboratorios de LA-GEO.

Como resultado se obtuvo películas flexibles con resistencia mecánica y valores aceptables de permeabilidad, luego del análisis de resultados la película que muestra las mejores características para ser utilizada como barrera de recubrimiento es aquella en la que se empleó como plastificante glicerina al 0.6% ya que presentó valores intermedios de permeabilidad y resistencia. Por lo que se recomienda continuar el estudio de este polímero para su utilización área de alimentos promoviendo de así el aprovechamiento de los recursos naturales.

## I. INTRODUCCION

## 1.0 INTRODUCCION

La creciente demanda por parte de los consumidores de alimentos más sanos y ecológicos ha llevado a los investigadores a desarrollar nuevos sistemas de envasado que prolonguen la vida útil de los productos y que, al mismo tiempo, sean reciclables. Actualmente, la protección se realiza con una mezcla de compuestos químicos sintéticos que no son totalmente biodegradables. Una de las alternativas que más fuerza está cobrando en los últimos años es el recubrimiento comestible. Se trata de una película transparente que envuelve al alimento y que actúa de barrera frente a la humedad y al oxígeno. Además, estos films pueden ser utilizados como soporte de aditivos para conservar las propiedades del producto o simplemente para mejorar su apariencia.

Las películas biodegradables pueden ayudar significativamente en la reducción de las consecuencias ambientales de los embalajes sin embargo aún no cumplen con las características necesarias de resistencia (elongación) y de barrera al vapor de agua exigidas por los productores de alimentos, en muchos casos, estos recubrimientos o films comestibles se elaboran a partir de materiales abundantes en la naturaleza, e incluso algunos que actualmente se consideran desperdicios como los exoesqueletos de los crustáceos del cual se obtiene el polisacárido llamado quitosano.

A nivel internacional se ha investigado la capacidad de formación de película del quitosano y sus propiedades de barrera al vapor de agua en diversas condiciones; en El Salvador ya se ha estudiado el quitosano como materia prima y su capacidad de absorción de metales pesados, no obstante no se ha trabajado a nivel de su utilización en aplicaciones como la formación de películas a condiciones ambientales territoriales.

Para aportar una solución al impacto ambiental generado por la utilización de empaques plásticos derivados del petróleo los cuales no son biodegradables, se elaboraron películas de quitosano, dichos films se obtuvieron por moldeo en dos bases diferentes; poliestireno y teflón, utilizando como materia prima el polisacárido quitosano; el cual es un derivado desacetilado de la quitina, ésta se obtiene generalmente de los exoesqueletos de los crustáceos sobre todo langostino, cangrejo y kril; así, para el desarrollo de esta investigación se partió de quitina la que se trata mediante un proceso químico hasta obtener quitosano y luego se procedió a la formación de películas por triplicado con el objetivo de evaluar sus propiedades de barrera al vapor de agua y sus propiedades como: elongación, espesor, textura de superficie y solubilidad; para ser utilizadas en posibles aplicaciones futuras en la industria alimentaria. Dichas pruebas se llevarán a cabo en las instalaciones del laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia en la Universidad de El Salvador, en un periodo de evaluación aproximado de 8 semanas.

## **II. OBJETIVOS**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Determinar la permeabilidad al vapor de agua por el Método ASTM E 96/E 96M-05 en películas de quitosano.

### **2.2. Objetivos Específicos**

**2.2.1.** Caracterizar potenciométricamente el quitosano utilizado como materia prima.

**2.2.2.** Elaborar películas de quitosano bajo el método de moldeo utilizando dos bases diferentes para ello: poliestireno y teflón.

**2.2.3.** Medir las propiedades de las películas de quitosano elaboradas: elongación, espesor, textura de superficie y solubilidad.

**2.2.4.** Cuantificar bajo el Método ASTM E 96/E 96M-05/desecante la permeabilidad de las diferentes películas elaboradas.

**2.2.5.** Analizar estadísticamente las propiedades a medir en las películas elaboradas, con la finalidad de proponer la que posee mejores características para ser utilizada como barrera de recubrimiento.

### **III. MARCO TEORICO**

### 3.0 MARCO TEORICO

#### 3.1 Generalidades del quitosano

El quitosano es un polisacárido lineal que se obtiene por desacetilación extensiva de la quitina y está compuesto por dos tipos de unidades estructurales distribuidas de manera aleatoria (distribución Bernouliana) a lo largo de la cadena, la N-acetil-D-glucosamina y la D-glucosamina, las cuales se encuentran unidas entre sí por enlaces del tipo  $\beta(1\rightarrow4)$  glicosídicos. En la Figura N° 1 se muestra la estructura del quitosano totalmente desacetilada. Sin embargo, resulta muy difícil desacetilar totalmente la quitina, y lo que usualmente se conoce como quitosano es una familia de quitinas con diferente grado de desacetilación, generalmente superior a 70%<sub>(30), (37)</sub>. La capacidad del quitosano de disolverse en soluciones acuosas diluidas de ácidos es el criterio comúnmente aceptado para diferenciarlo de la quitina. El quitosano también se encuentra presente en cantidades significativas en algunos hongos, tales como ***Mucor rouxii*** y ***Choanephora cucurbitarum*** con 30 y 28% de quitosano en base seca, respectivamente, aunque también asociada a otros polisacáridos<sub>(45)</sub>.

El quitosano es insoluble en agua, soluble en disolventes ácidos. Los ácidos orgánicos como los ácidos acéticos, fórmicos y lácticos sirven para disolverlo, y el solvente comúnmente utilizado es solución al 1 % de ácido acético. La solubilidad del quitosano en solventes ácidos inorgánicos está muy limitada.

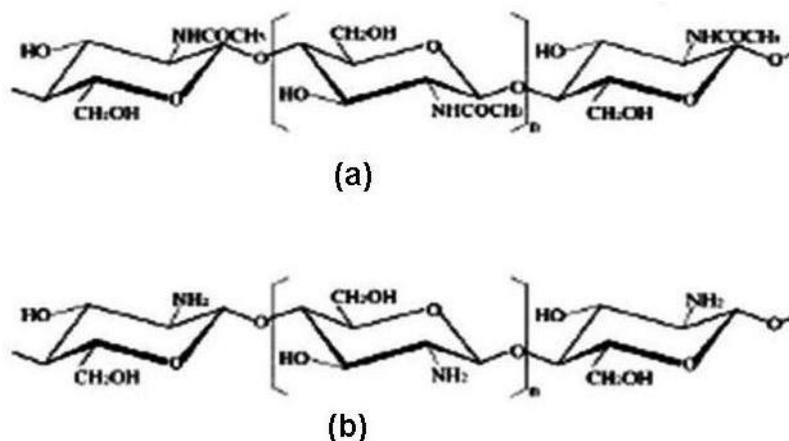


Figura N° 1: Representación esquemática de las cadenas de (a) quitina totalmente acetilada y (b) quitosano totalmente desacetilada. La similitud estructural entre ellas resulta evidente.

Es soluble en ácido clorhídrico al 1 % sin embargo es insoluble en ácidos sulfúricos y fosfóricos. La estabilidad de la solución de quitosano es pobre por encima de pH 7 debido a la precipitación o gelificación.

### 3.1. Fuentes de quitosano

Es obtenido de la quitina, la cual es un polisacárido encontrado en el exoesqueleto de invertebrados marinos, insectos y algunas algas. La quitina es quizá el segundo polisacárido más importante después de la celulosa además de ser recurso natural abundante, renovable y disponible. Las especies acuáticas que son ricas en material quitinoso (10-55% base seca) incluyen a calamares, cangrejos, camarones, la sepia y las ostras. Se sabe que los hongos mucoraceous contienen quitina y el derivado desacetilado, quitosano, en las paredes de la célula (22 al 44 %) <sup>(36)</sup>.

Dependiendo de la fuente las propiedades físico-químicas y funcionales del quitosano varían. A pesar de tener una gran variedad de fuentes disponibles, el quitosano es comercialmente producido sólo de crustáceos (langostino, el cangrejo, el camarón y cangrejo de río) principalmente porque una gran cantidad de exoesqueleto de crustáceo está disponible como un subproducto de procesamiento de esta comida. La eliminación de desperdicio crustáceo de la concha ha sido un reto para procesadores de mariscos. Por consiguiente, la producción de productos de valor agregado, como quitina, quitosano y sus derivados, y su utilización de estos dan valor añadido a esta industria.

## **3.2. Métodos de Obtención**

### **3.2.1. Obtención de quitosano partiendo de exoesqueletos de crustáceos**

Dentro de los procedimientos involucrados para la obtención de quitosano se tienen (ver anexo N° 1):

1. Extracción de la quitina de los exoesqueletos.
2. Desacetilación de la quitina
3. Purificación

#### **3.2.1.1. Obtención de quitina**

La quitina comercial se extrae a partir de desechos de crustáceos de la industria pesquera, siendo las principales fuentes los caparazones de cangrejo, camarón, langostino y langosta. Las técnicas de extracción reportadas son muy variadas,

pues dependen en gran medida de las características de la fuente, ya que la composición del material de partida varía notablemente de una especie a otra. La mayor parte de las técnicas desarrolladas descansan en procesos químicos de hidrólisis de la proteína y la remoción de la materia inorgánica. Algunos incluyen un paso de decoloración de la quitina extraída, mediante una extracción con solvente o la oxidación de los pigmentos remanentes. Estos métodos utilizan generalmente grandes cantidades de agua y energía, y con frecuencia dan lugar a desechos corrosivos. En la actualidad se investigan tratamientos enzimáticos como una alternativa. A tal efecto se han reportado procesos que utilizan extractos enzimáticos o enzimas aisladas y fermentaciones microbiológicas, pero aún sin la eficiencia de los métodos químicos, fundamentalmente en lo que respecta a la eliminación del material inorgánico <sup>(7)</sup>.

En general los procesos de obtención de quitina se realizan mediante los siguientes pasos consecutivos: acondicionamiento de la materia prima, extracción de la proteína (desproteínización), eliminación de las impurezas inorgánicas (desmineralización), y decoloración de la quitina obtenida <sup>(37), (45)</sup>.

#### **3.2.1.1.1. Acondicionamiento de la materia prima**

Consiste en el lavado con agua de los caparzones a procesar y separación de la masa que pueda quedar adherida a los mismos. Posteriormente se procede a

su molienda hasta el tamaño de partículas adecuado para la extracción, que generalmente es de varios milímetros.

#### **3.2.1.1.2. Desproteización**

El procedimiento más comúnmente utilizado para desproteizar consiste en tratar los caparazones de los crustáceos con una solución acuosa diluida de NaOH a temperatura entre 65-100°C generalmente con el fin de disolver la proteína. El tiempo de tratamiento suele variar entre 30 minutos y 72 horas. En ocasiones se prefiere realizar dos tratamientos consecutivos por tiempos cortos. Hay que tener en cuenta que tratamientos por largo tiempo o a temperaturas muy altas pueden provocar ruptura de las cadenas y la desacetilación parcial del polímero. También se han utilizado otros agentes para extraer la proteína, entre los cuales se mencionan los siguientes: carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), hidróxido de potasio (KOH), carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), bisulfito de sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ), fosfato de sodio tribásico ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) y sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ).

Los procesos de desproteización usando extractos enzimáticos o enzimas aisladas y fermentaciones microbiológicas se han probado con relativo éxito, pero la alternativa del tratamiento enzimático/microbiológico, además de consumir largo tiempo, suele dejar de 1-7% de proteína residual<sup>(56)</sup>.

#### **3.2.1.1.3. Desmineralización <sup>(44)</sup>**

El principal componente inorgánico de los caparazones de los crustáceos es el  $\text{CaCO}_3$ , el cual se suele eliminar empleando soluciones diluidas de ácido clorhídrico (HCl hasta 10%) a temperatura ambiente, aunque también se han utilizado otros ácidos (ácido nítrico, ácido fórmico, ácido sulfúrico, y ácido acético). La concentración del ácido y el tiempo de tratamiento dependen de la fuente, pero deben evitarse los tratamientos a temperaturas que provoquen la degradación del polímero. Un tratamiento alternativo para disminuir la degradación consiste en el empleo del agente acomplejante EDTA (ácido etilendiaminotetracético).

#### **3.2.1.1.4. Decoloración**

La coloración de los exoesqueletos de crustáceos se debe fundamentalmente a la presencia de pigmentos tales como la astaxantina, la cantaxantina, el astaceno, la luteína y el  $\beta$ -caroteno. Los tratamientos anteriores generalmente no son capaces de eliminar estos pigmentos, los que suelen extraerse a temperatura ambiente con acetona, cloroformo, éter, etanol, acetato de etilo o mezcla de solventes. También se han empleado agentes oxidantes tradicionales, como el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$  0.5-3%) y el hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$  0.32%), aunque debe tenerse presente que éstos suelen atacar los grupos aminos libres e introducir modificaciones en el polímero.

### 3.2.1.2. Desacetilación de la quitina

Esta se lleva a cabo por hidrólisis de los grupos acetamida en medio fuertemente alcalino, a altas temperaturas. Generalmente la reacción se realiza en fase heterogénea empleando soluciones concentradas de hidróxido de sodio o hidróxido de potasio (40-50%) a temperaturas superiores a 100°C, preferiblemente en atmósfera inerte o en presencia de sustancias reductoras como el borhidrato de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) o el tiofenol para evitar la despolimerización del polímero. Las condiciones específicas de la reacción dependerán de diversos factores, tales como el material de partida, el tratamiento previo, y el grado de desacetilación deseado. No obstante, con un solo tratamiento alcalino, el máximo grado de desacetilación alcanzado no suele sobrepasar del 75 al 85%.

Tratamientos prolongados suelen provocar la degradación del polímero sin traducirse en un aumento sensible del grado de desacetilación <sup>(46), (59)</sup>. Al igual que la celulosa, la quitina es un polímero semicristalino, de manera que cuando la desacetilación se realiza en fase heterogénea la reacción tiene lugar fundamentalmente en las regiones amorfas. La reacción en condiciones homogéneas permite una modificación más uniforme del polímero, y se realiza sobre quitina alcalina. La misma se obtiene sometiendo una suspensión alcalina de quitina a tratamientos de congelación-descongelación hasta producir una solución acuosa de quitina en hidróxido de sodio.

La desacetilación homogénea se lleva a cabo a concentraciones de álcali más moderadas (alrededor del 30%), a 25-40°C por tiempos de 12 a 24 horas <sup>(37)</sup>. Se ha podido demostrar que los quitosanos obtenidos en el proceso heterogéneo presentan polidispersión en cuanto al grado de desacetilación de sus cadenas, las obtenidas por vía homogénea tienen todas las mismas composiciones <sup>(45)</sup>.

En la actualidad se exploran otros métodos más novedosos para desacetilar la quitina que hace uso de la radiación con microondas o de tratamientos termomecánicos, entre otros <sup>(44)</sup>.

### **3.2.1.3. Purificación**

Esta se lleva a cabo basado en las características de solubilidad del quitosano y su objetivo es eliminar cualquier residuo de quitina que pudiera encontrarse en el producto final. El quitosano se disuelve en ácido acético al 2% y se somete a un proceso de filtrado para eliminar todo aquello no disuelto, luego se induce a la precipitación en hidróxido de sodio (NaOH), se lleva a pH neutro y luego se seca.

### **3.3. Aplicaciones del quitosano**

El quitosano presenta un conjunto de propiedades que resultan ventajosas para su aplicación en diversas esferas de actividad. Su capacidad de secuestrar iones metálicos de transición y post-transición, resulta de utilidad en la

descontaminación de residuales industriales; su carácter policatiónico le confiere acción floculante, por lo que se puede utilizar con este fin en diversas industrias; sirve como soporte para la inmovilización de enzimas, para su empleo en biotecnología y la industria alimentaria, entre otras; su carácter antifúngico ha sido utilizado para aplicaciones en la agricultura; es un excelente formador de fibras, películas y membranas, además de poderse preparar en forma de microesferas y microcápsulas, lo que unido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad admiten su empleo en diversas aplicaciones en las industrias biomédica y farmacéutica, y la reactividad que le confieren sus grupos amino e hidróxidos ( $\text{NH}_2$  y  $\text{OH}$ ) permiten la preparación de derivados que amplían grandemente su campo de acción.

### **3.3.1. Aplicaciones del quitosano en medicina y farmacia.**

El quitosano es un polímero biocompatible, biodegradable, no-tóxico y mucoadhesivo, volviéndolo muy atractivo para aplicaciones en medicina y farmacia<sup>(11)</sup>,<sup>(37)</sup>. Es degradado por la lisozima y la quitosanosa. La primera está presente en los mamíferos, y la segunda se encuentra en los insectos y plantas. La lipasa, una enzima presente en la saliva y los fluidos gástrico y pancreático humanos, también degrada el quitosano<sup>(42)</sup>. Los productos de la degradación enzimática del quitosano no son tóxicos.

El quitosano y sus derivados tienen numerosas aplicaciones en biomedicina, tales como hilos de sutura, esponjas y vendas biodegradables, matrices (en microesferas, microcápsulas, membranas y tabletas comprimidas) para dosificación de fármacos, en ortopedia y en estomatología, entre otros<sup>(45), (46)</sup>.

### **3.3.2. Aplicaciones del quitosano en la agricultura**

En la agricultura moderna se hace cada vez más generalizado el uso de polímeros naturales biodegradables, tanto asociados a composiciones de fertilizantes como a preparados protectores de semillas y plantas, con el fin de lograr incrementar los rendimientos de los cultivos. El quitosano es un polímero natural cuyas propiedades prometen una mayor efectividad económica y práctica que otros agentes tradicionales, debido a su excelente capacidad de formación de películas, unido a que no produce contaminantes, es biocompatible y no presenta toxicidad<sup>(45), (46)</sup>.

El Quitosano ha sido utilizado en el recubrimiento de cereales, dando como resultado un incremento en la productividad de los cultivos<sup>(46)</sup>. Aparentemente provoca una respuesta en la semilla, protegiendo a la planta de infecciones de hongos fitopatógenos que tienen quitina en su pared celular<sup>(45)</sup>. El efecto antifúngico del quitosano se ha demostrado en varios experimentos. Esto puede estar dado por la inducción de enzimas quitinasas durante la germinación.

### **3.3.3. Industria** <sup>(29), (40)</sup>

Se usa en la fabricación de papel, textiles, en la industria alimenticia como soporte para la inmovilización de enzimas en la producción de maltosa, espesante en alimentos, agente de oxidación controlada y agente conservante.

### **3.3.4. Química analítica** <sup>(8)</sup>

Destacan sus aplicaciones cromatográficas, e intercambiadoras de iones, absorción de metales pesados y absorción de ácidos, fabricación de electrodos específicos para metales entre otros.

### **3.3.4. Dietético**

Ampliamente empleado en la fabricación de adelgazantes, en donde actúa como agente captador de grasas.

## **3.4. Habilidad del quitosano de formar películas**

Quitosan con peso molecular más altos se ha reportado que tienen buenas propiedades para formar películas como resultado de la unión intra e intermolecular del hidrógeno. Una patente fue concedida para G.W. Rigby en 1936 para el primer intento de formar películas a base de quitosano. Las cuales fueron descritas como flexibles, resistentes, transparentes, e incoloras con una fuerza de tensión de aproximadamente 9,000 psi preparadas bajo el método de disolución en solvente. Las películas de quitosano preparadas por métodos

similares fueron reportadas posteriormente por Muzzarelli y otros (1974)<sup>(37)</sup>, Averbach (1978)<sup>(26)</sup>, Bluter y otros (1996)<sup>(9)</sup>, Caner y otros (1998)<sup>(10)</sup> y Wiles y otros (2000)<sup>(61)</sup>. Estas películas estaban descritas como una buena barrera al gas y de buenas propiedades mecánicas. Las características de la película de quitosano, sin embargo, se diferenciaron de un informe para otro. Las diferencias como las fuentes de quitina para producir quitosano, los disolventes usados, los métodos de preparación de la película, y los tipos y las cantidades de plastificantes afectan la calidad de las películas de este polímero. La habilidad de formar películas de quitosano extraída de cangrejo de río ha sido reportada por Nadarajah y Prinyawiwakul (2003)<sup>(38)</sup>.

#### **3.4.5. Métodos de formación de película**

Las películas comestibles son formadas ya sea por un proceso húmedo o seco. El mecanismo de vía húmeda se basa en una dispersión que forma películas o una solución en la cual los polímeros son primero dispersos o solubilizados en una fase líquida, y luego secados. La deshidratación por congelación es utilizada para obtener tramados de tipo de esponjas usados en la ingeniería del tejido fino. El proceso húmedo es a menudo preferido ya que permite la aplicación de películas como recubrimientos en una forma líquida directamente encima de artículos alimenticios<sup>(47)</sup>, además, permite el moldeo de acuerdo a la forma necesitada. Algunas películas comestibles, pueden estar preparadas usando un proceso seco, como la extrusión del termoplástico.

### **3.6. Mecanismos para formar películas**

Las soluciones poliméricas líquidas forman películas a través de una serie de fases. Cuando la solución de polímero se proyecta en una superficie, las Fuerzas de cohesión forman una unión entre las moléculas de polímero <sup>(6)</sup>. Cuando la fuerza cohesiva de las moléculas del polímero es relativamente alta, las superficies continuas del material se juntan. Coalescen con un estrato adyacente a la molécula de polímero esto ocurre a través de la difusión. Al evaporarse el agua, la formación de gel progresa y deja las cadenas de polímero alinearse a corta distancia el uno para el otro quedando ingresadas sobre un estrato previo de polímero. Cuando hay atracción cohesiva adecuada entre las moléculas, y si se da suficiente difusión y evaporación del agua, el polímero se alinea y forma películas <sup>(37)</sup>. El grado de cohesión afecta las propiedades de la película así como la densidad, porosidad, permeabilidad, flexibilidad y fragilidad de la película.

### **3.7. Película, Morfología y Defectos**

Las películas poliméricas deberían ser uniformes y libres de defectos para sus aplicaciones. La uniformidad de las películas es crítica para su funcionabilidad. Las variables del proceso involucradas en la conversión de quitina en quitosano, especialmente la uniformidad de tamaño de las partículas de exoesqueletos usadas como el material de partida, en gran medida influencia las propiedades del quitosano <sup>(37)</sup>, y por lo tanto la uniformidad de las películas

producidas. Durante el proceso de formación de películas, el encogimiento de las películas debido a la evaporación de agua o el rápido secado a menudo causa defectos como grietas o el rizado en las películas <sup>(39)</sup>. La adición de plastificantes como glicerol o sorbitol se usa a menudo para reducir tales defectos.

### **3.8. Función de los plastificantes en la formación de películas**

Las películas preparadas de polímeros puros tienen tendencia a ser quebradizas y a menudo rajarse al desecarse. La adición de plastificantes de grado alimenticio soluciona este problema <sup>(33)</sup>. Cuando un plastificante se agrega, la rigidez molecular de un polímero es corregida reduciendo las fuerzas intermoleculares a lo largo de la cadena polimérica. Las moléculas de plastificante se interponen entre las cadenas individuales de polímero, así rompen las interacciones de polímero-polímero, haciendo fácil que las cadenas de polímero se muevan uno al otro. El plastificante mejora la flexibilidad y reduce fragilidad de la película. El polietilenglicol, el glicerol, el propilenglicol, y sorbitol son los plastificantes comúnmente usados en la producción de películas comestibles <sup>(5)</sup>.

La cantidad de plastificante adicionado puede causar efectos adversos en propiedades de la película como el traslado masivo creciente a través de las películas. Por lo tanto, los plastificantes deben ser usados con cautela. Cuando la concentración de plastificante excede su límite de compatibilidad en el

polímero, causa separación de fase y excepción física del plastificante <sup>(4)</sup>. Esto conduce al desarrollo de un residuo blanco en películas comestibles a que se les ha referido como eflorescencia <sup>(4), (52)</sup>. Lo que nos lleva a la búsqueda de la cantidad adecuada (%) óptimo de plastificante.

### **3.9. Propiedades del quitosano y de las películas de quitosano**

#### **3.9.1. Seguridad de películas de Quitosano**

El quitosano no es tóxico y es seguro para animales domésticos <sup>(24)</sup>. Según Rao y Sharma (1997) <sup>(50)</sup>, las películas de quitosano fueron poco tóxicas y libres de pirógenos. Muchas aplicaciones médicas y farmacéuticas de películas del quitosano requieren esterilidad de películas. Las películas de quitosano pueden ser esterilizadas por irradiación <sup>(31)</sup> y autoclavado <sup>(51)</sup>, aunque estos procesos conducen a alguna degradación de las películas.

#### **3.9.2. Biodegradación de Quitosano y sus películas**

Muchos estudios han demostrado que la quitina y quitosano son polímeros biodegradables. Davies y otros (1969) <sup>(16)</sup> informaron que el quitosano es más susceptible a la hidrólisis por lisozimas a un pH 5.2, y el rango óptimo de pH está entre pH 5.2 y 8.0.

Pangburn y otros (1982) <sup>(41)</sup> estudiaron el efecto de desacetilación sobre la susceptibilidad de quitina y quitosano por lisozimas; encontrando que la quitina

pura (desacetilación de 0 %) era más susceptible a lisozimas, mientras que el quitosano puro (desacetilación de 100 %) no fue degradado por lisozimas. Sashiwa y otros (1990)<sup>(54)</sup> estudiaron las tasas relativas de degradación de seis quitosanos variando en el grado de desacetilación (45 %, 66 %, 70 %, 84 %, 91 %, y 95 %), e informaron que la desacetilación de 70 % de quitosano se degeneró más rápidamente.

Shigemasa y otros (1994)<sup>(55)</sup> investigaron los efectos de los métodos de preparación sobre la degradación del quitosano. Encontraron que para el mismo peso molecular y el grado de desacetilación, los quitosanos homogéneamente preparados eran más susceptibles para la hidrólisis por lisozimas que los quitosanos heterogéneamente preparados.

### **3.9.3. Propiedades mecánicas de las películas de Quitosano**

Para que películas comestibles sean utilizadas como material de recubrimiento alimenticio, deben satisfacer varias necesidades, dentro de los requisitos se encuentran la estabilidad, resistencia al estiramiento, flexibilidad, plegabilidad, y elasticidad. Así como, poseer propiedades extensibles deseables que soporten el estrés ejercido durante los diversos procesos de manipulación. Existe poca literatura disponible acerca de propiedades mecánicas de películas de quitosano. Además, hay variaciones dentro de los valores físicos de las

propiedades de películas de quitosano reportadas en la literatura debido a la utilización de diferentes quitosanos y condiciones de prueba usadas.

En ácido acético al 1 % las variaciones en la fuerza mecánica de películas de quitosano se deben al tipo de quitosano y concentración usada, el tipo de plastificante y su contenido, también el disolvente. Los valores TS (tensión) de las películas de quitosano son comparables con los valores de películas comerciales de HDPE y LDPE (polietileno de alta y baja densidad) pero, los valores de %E (% de elongación) están significativamente más abajo de las películas comerciales. Sin embargo, comparadas con películas hechas de otros biopolímeros (el gluten de trigo, la proteína de maíz y la proteína de la soja aislada), las películas de quitosano exhiben significativamente valores más altos<sup>(15)</sup>.

#### **3.9.4. Propiedades de transporte de las películas de Quitosano**

En general, las películas comestibles y los recubrimientos proveen el potencial para controlar el transporte de la humedad, el oxígeno, el aroma, aceites esenciales y compuestos de sabor en sistemas de comida, dependiendo de la naturaleza de los materiales que forman los filmes<sup>(18)</sup>. Sin embargo, cuando las películas son formadas usando biopolímeros a solas, son muy quebradizos. Para reducir la fragilidad y hacer películas flexibles, se usan plastificantes. No obstante, los plastificantes aumentan la permeabilidad de la película <sup>(21)</sup>,

especialmente los hidrófilos. La permeabilidad aumentada de películas comestibles es indeseable para aplicaciones de comida, por lo que existe la necesidad de minimizar el uso de plastificantes. Otra forma potencial para aumentar la flexibilidad de las películas, es reducir el peso molecular del polímero, así al reducir las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas, del polímero, aumentando los grupos al final de la cadena de polímero y aumentando el volumen libre de polímero se puede permitir una disminución en la cantidad requerida de plastificante añadido; por lo tanto, puede minimizarse la permeabilidad de películas al producir la flexibilidad necesitada.

Las películas de quitosano exhiben propiedades de barrera a los gases. La permeabilidad del oxígeno al quitosano es igual de baja como lo son las películas convencionales de plástico de polivinilo-dicloruro (PVDC) y etilvinil-alcohol (EVOH). Desde que los quitosanos se obtuvieron de fuentes diversas y los métodos varían en sus características <sup>(37)</sup>, las propiedades de la barrera de películas hechas de diversos quitosanos también varían reportándose una tasa de transmisión del vapor de agua de  $1200 \text{ g/m}^2/\text{d}$  medidos a  $100^\circ \text{ F}$  y a 90 % de humedad relativa para membranas del quitosano con  $20 \text{ }\mu\text{m}$  de espesor. Wong y otros (1992) <sup>(62)</sup> reportaron un valor de permeabilidad al vapor de agua (WVP) de  $0.41 \text{ g/m}^2/\text{d}/\text{mmHg}$  para quitosano y películas de quitosano-lípido.

Webber 2000 y otros (1996) <sup>(60)</sup> manifestaron que sus películas de quitosano fueron muy buenas barreras para el oxígeno. También informaron que las concentraciones crecientes de plastificante afectaron negativamente las propiedades de barrera pero mejoraron la formación y las propiedades mecánicas.

Caner y otros (1998) <sup>(10)</sup> Usando concentraciones de diversos ácidos y de plastificante, reportaron coeficientes de permeabilidad al vapor de agua que se extienden desde  $1.74 \times 10^{-5}$  hasta  $7.04 \times 10^{-4}$  g/m/d/mmHg a 25 ° C con %HR de 50 % a 100 %. También sugirieron que el tiempo de almacenamiento no tuviese efecto en propiedades de barrera en películas de quitosano.

### **3.10. Plastificantes**

Son un tipo de compuestos químicos de baja volatilidad que se agregan a un polímero (plástico) para reducir las interacciones intermoleculares entre las cadenas de polímero. Es un factor importante en la formulación de polímeros comestibles ya que afecta las propiedades mecánicas y la permeabilidad de las películas. Los plastificantes alteran la estructura de las películas, la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases o de agua.

El efecto del plastificante es hacer que el material al que se agrega sea más manejable, adquiera una mayor plasticidad y por tanto sea más sencillo su tratamiento industrial. Su concentración final suele ser muy baja.

Los plastificantes que se utilizan en la industria de alimentos incluyen:

- Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos: glucosa, jarabe de fructosa.
- Polioles: sorbitol, glicerol, polietilenglicoles, derivados del glicerol.
- Lípidos y derivados: ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados del ester, fosfolípidos y surfactantes.

### **3.10.1 Glicerina**

La glicerina es un líquido viscoso incoloro, inodoro, higroscópico y dulce. Los términos glicerina o glicerol son utilizados indistintamente para referirse al compuesto; sin embargo, el nombre oficial IUPAC es propan-1, 2, 3-triol. Es una estructura simple que está formada por una molécula de propano al que se unen por enlaces lipídicos tres grupos hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ); los cuales son los responsables de su solubilidad en el agua.

Es higroscópico (absorbe agua del aire); se funde a  $17.8^\circ\text{C}$ , su punto de ebullición con descomposición es a  $290^\circ\text{C}$ , y es miscible con agua y etanol. La glicerina puede ser quemada, sin embargo su combustión debe ser realizada a

temperaturas mayores a su punto de ebullición, de lo contrario puede emitir gases tóxicos (acrolina), los cuales se forman entre los 200 y 300 °C.

### **3.10.2. Aceite de oliva**

Es un aceite vegetal que se extrae de la oliva o aceituna, fruto del olivo. Este tiene un gran contenido en ácido oleico.

#### **3.10.2.1. Composición de los aceites de oliva**

Se pueden considerar tres grandes grupos de sustancias en la composición del aceite de oliva:

- Fracción saponificable: comprende el 98-99 % en el total de su peso. Está formada por los triglicéridos, ácidos grasos libres y fosfolípidos. Esta fracción está formada por un 75,5 % de ácido oleico, un 11,5 % de ácido palmítico y por un 7,5 % de ácido linoléico, además de otros ácidos grasos en concentración de trazas, como caféico, margárico, esteárico etc.
- Fracción insaponificable: constituye el 1,5 % en el total de su peso. Comprende los hidrocarburos como el hexanal, responsable del gusto herbáceo de un aceite frutado, alcoholes, esteroides y tocoferoles.
- Otros componentes menores:
  - Polifenoles: relacionados con el sabor del aceite.

- Pigmentos clorofílicos y carotenoides: relacionados con el color del aceite.
- Compuestos volátiles: responsables del aroma del aceite.

Dentro de los tipos de aceites de oliva y en orden de calidad se pueden clasificar según Reglamento del Consejo de las Comunidades Europeas 356/92:

Aceite de orujo de oliva: Se obtiene de los restos de las aceitunas tras haber extraído el aceite de oliva virgen. Después se mezcla con aceite de oliva virgen y refinado.

Aceite de oliva: Este tipo de aceite se obtiene a partir del refinado de los aceites defectuosos, en su proceso de elaboración intervienen elementos químicos de limpieza de aromas, sabores y colores. Tras este proceso, se mezcla con una cantidad determinada de aceite de oliva virgen.

Aceite de oliva virgen: Es el aceite obtenido únicamente por procedimientos mecánicos en condiciones que no ocasionen alteraciones del aceite y que no ha sufrido tratamiento químico alguno. La acidez máxima es de 2°.

Aceite de oliva virgen extra: Es el aceite de oliva virgen cuya acidez máxima no supera los 0,8°.

Aceite de oliva virgen extra ecológico: Es producido cultivando el olivar sin productos químicos, lo que le confiere aún mejores propiedades.

### **3.10.2.2. Ácido oleico** (26)

El ácido oleico (ácido *cis*-9-octadecenoico), peso molecular de 282.46 g/mol, es probablemente el más abundante de todos los ácidos naturales. Sus glicéridos se encuentran en cantidades notables en todas las grasas de los animales terrestres y marítimos y en todos los aceites vegetales. En las grasas animales es el principal componente: de 40 a 50% de la grasa; pero los mayores porcentajes se encuentran en los aceites vegetales; en el aceite de oliva 70-85%. Se han descrito dos formas cristalinas del ácido oleico: puntos de fusión 13.4 y 16.3°C.

### **3.11. Permeabilidad**

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de cuatro factores básicos:

- La estructura del material: porosidad efectiva (huecos interconectados), Tamaño de los poros, sección y espesor de la película.
- La densidad del fluido considerado, que puede ser afectada por la temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido.
- Tiempo de exposición.

### **3.11.1. Permeabilidad al vapor de agua**

Es la cantidad de vapor (gramos) que pasa por unidad de superficie ( $m^2$ ) de un material de espesor unitario (mm) por unidad de tiempo (h) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (kPa).

#### **3.11.1.1 Métodos de evaluación de la permeabilidad al vapor de agua**

##### **3.11.1.1.1. Estándar ASTM internacional**

ASTM Internacional (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones más grandes del mundo para el desarrollo voluntario de normas, una fuente confiable de normas técnicas para materiales, productos, sistemas, y servicios. Conocidas por su alta calidad técnica y relevancia en el mercado, las normas ASTM desempeñan un importante papel en la infraestructura de la

información que orienta el diseño, la fabricación y el comercio en la economía mundial.

Las normas ASTM son documentos que sirven para formalizar los procedimientos, reglas o directrices a seguir por la industria. Un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de ASTM Internacional, y que cumpla los requisitos de aprobación de los procedimientos y las normas ASTM, puede convertirse en una de las normas de ASTM Internacional.

#### **3.11.1.1.1.1. ASTM E 96/ E 96M-05**

Dentro de la gran recopilación de métodos estándares ASTM, encontramos una de utilidad para determinar la permeabilidad al vapor de agua, ASTM E 96/ E 96M-05(ver anexo N° 2). El objetivo de las pruebas en esta norma es obtener, por medio de aparatos simples, fiables valores de transferencia de vapor de agua a través de materiales permeables y semipermeables, expresada en unidades adecuadas. Estos valores son para el uso en el diseño, fabricación y comercialización de materiales. Un valor de permeabilidad obtenido en virtud de una serie de condiciones de prueba no puede indicar el valor de un conjunto diferente de condiciones. Por esta razón, las condiciones de prueba deben seleccionarse según las circunstancias de uso que más se acerquen a la utilidad.

### - **Ámbito**

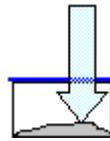
Estos métodos de ensayo se refieren a la determinación de la transmisión de vapor de agua (WVT) de los materiales a través de los cuales el paso del vapor de agua puede ser de importancia, tales como papel, películas de plástico, otros materiales laminados, yeso y productos de yeso, productos de madera, y plásticos. Básicamente la norma dispone de dos métodos, los cuales se explicarán posteriormente, el método Desecante y el Método de Agua, para la medición de permeabilidad, y dentro de este último encontramos dos variaciones en las condiciones de uso, una que moja una cara de la película y la otra que no moja ninguna de las caras de la película. El método debe ser seleccionado según los enfoques de las condiciones de uso.

Las pruebas bajo el método ASTM-E96 para la medición de la permeabilidad al vapor de agua son realizadas con una película de muestra, la cual se emplea como cierre de un tubo de ensayos, que contiene desecante o agua, luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. La unidad de prueba se pesa periódicamente y el peso se representa gráficamente como una función de tiempo. La transmisión de vapor de agua se toma como la pendiente de la curva (en la región lineal) dividida por el área de apertura y, para obtener finalmente el valor que representa la permeabilidad al vapor de agua, es necesario hacer una serie de cálculos, los cuales se detallan en el procesamiento de la información en el diseño metodológico.

– **División del método ASTM E96/ E 96M-05**

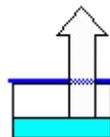
ASTM E96/ E 96M-05/Desecante

La muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo de ensayos que contiene un desecante en el fondo y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra de la atmósfera controlada en el desecante.



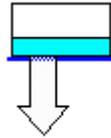
ASTM-E96/ E 96M-05/Agua

La muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo de ensayos que contiene agua y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra, desde el agua hacia la atmósfera controlada.



### ASTM-E96/ E 96M-05/Agua Invertida

El procedimiento es igual al método de agua, salvo que en la prueba se coloca el tubo invertido para que el agua esté en contacto con la muestra.



## **IV. DISEÑO METODOLOGICO**

## 4. DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1. Tipo de estudio

El trabajo desarrollado, dentro de los diferentes tipos de estudio se clasifica como: bibliográfico, experimental, retrospectivo y prospectivo:

- Bibliográfico: los fundamentos de la experimentación se basan en las investigaciones bibliográficas realizadas y en la documentación recolectada.
- Experimental: se realizaron experimentos para cumplir con los objetivos propuestos de la investigación.
- Retrospectivo: trabajos previos de investigación realizados han servido de referencia para efectuar algunas técnicas experimentales que contribuyeron con el progreso del trabajo ejecutado.
- Prospectivo: el resultado del estudio es de utilidad en subsiguientes indagaciones que apliquen las valiosas propiedades del quitosano para desarrollar películas resistentes al vapor de agua destinadas a la industria alimentaria, en donde se le puede emplear para recubrir alimentos con el objetivo de preservarlo por mayor tiempo en condiciones óptimas para su consumo, utilizando para tal efecto las películas con las mejores características físicas y de permeabilidad propuestas en este trabajo.

#### **4.2. Investigación bibliográfica**

Se consultaron temas referentes en fuentes de información primaria, obteniéndose como resultado de la búsqueda pocos trabajos de graduación en la Biblioteca Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia y Biblioteca Central en la Universidad de El Salvador. Se realizaron visitas en las siguientes bibliotecas: Biblioteca de la Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer (USAM), Biblioteca de la Universidad Nueva San Salvador (UNSSA), Biblioteca de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), Biblioteca Virtual de la Asociación de Universidades Privadas de El Salvador (AUPRIDES). Así como, en Internet se pudieron examinar varias investigaciones científicas concernientes al uso del quitosano.

#### **4.3. Investigación de campo**

Se realizó una investigación en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) área del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), Unidad de Estadística, Final Avenida Manuel Gallardo y 13 Calle Poniente, Santa Tecla, departamento de La Libertad, El Salvador, con la intención de estipular la cantidad de Empresas y/o cooperativas que se dedican a la industria de las especies marinas de interés para el desarrollo de esta investigación (camarón y langostino), y si tales Empresas y/o cooperativas procesan dichas especies.

Se obtuvo documentación en la cual se detalla la cantidad de entidades que existen actualmente pescando y/o procesando las especies marinas deseadas, también informaron que en la actualidad no existe empresa alguna que produzca quitosano o quitina en El Salvador.

#### **4.4. Universo y muestra**

Universo

Toda la quitina importada a El Salvador.

Muestra

De la quitina donada por un particular, se procedió a la toma de una muestra puntual de 60.0 g para el desarrollo de la investigación.

#### **4.5. Parte experimental**

El desarrollo de la parte experimental comprendió siete componentes primordiales:

- Preparación de reactivos (ver anexo N° 3).
- Obtención de quitosano a partir de quitina.
- Purificación del quitosano.
- Caracterización del quitosano.
- Elaboración de las películas.
- Evaluación de las propiedades de las películas.

- Análisis e interpretación de los datos.

#### **4.5.1. Obtención del quitosano a partir de quitina (ver anexo N° 4)**

La materia prima para la obtención de quitosano es la quitina, la cual se refluja con una solución concentrada de hidróxido de sodio. Este proceso se realiza a una temperatura y tiempo determinado obteniendo una reducción en la cadena polimérica de la quitina, es decir, remoción de grupos acetilo y generación de grupos insaturados<sup>(14)</sup>.

Procedimiento:

1. Pesar 60.0 g de quitina y colocarla en un matraz de dos bocas con capacidad de 2000 mL.
2. Adicionar 900.0 mL de hidróxido de sodio al 50%.
3. Adaptar un refrigerante y termómetro al matraz.
4. Reflujar la muestra de quitina durante 4 horas a una temperatura de 105 grados Celsius en un hot-plate.
5. Separar el producto obtenido por filtración con ayuda de un tamiz adecuado en el que se retenga el producto, luego, se realizan lavados con agua destilada hasta eliminar la alcalinidad del medio, utilizando fenolftaleína como indicador en el filtrado hasta que no se torne rosada.
6. Secar el quitosano obtenido en una estufa a 105 °C por media hora.

#### **4.5.2. Purificación del quitosano**

El quitosano obtenido del proceso de desacetilación de la quitina podría contener trazas de ella, por lo que se hace necesario realizar un proceso de purificación al producto obtenido anteriormente, ya que la quitina presente puede generar imperfecciones en las películas lo que afectaría su capacidad de barrera al vapor de agua.

Procedimiento:

1. Colocar en un vaso de precipitados de vidrio una relación 1:20 de quitosano y ácido acético al 2% v/v.
2. Agitar mecánicamente a velocidad constante.
3. Filtrar al vacío con equipo Hirsch.
4. Colocar la solución filtrada en un erlenmeyer y adicionar 300 mL de hidróxido de sodio al 25% p/p, agitar por una hora a velocidad constante.
5. Filtrar y realizar lavados con agua hasta pH neutro, utilizando fenolftaleína como indicador en el filtrado hasta que no se torne rosada.
6. Agregar 250 mL de etanol al 95% al sólido obtenido y dejar en reposo por 3 horas.
7. Filtrar y secar a temperatura ambiente por 24 horas; al quitosano obtenido de este proceso se le determina el grado de desacetilación.

### **4.5.3. Caracterización del quitosano**

#### **4.5.3.1. Grado de desacetilación**

Tanto la composición de las cadenas de estos polímeros como sus dimensiones suelen variar dependiendo del material de partida y de la rigurosidad del método de obtención, por lo que la determinación del grado de desacetilación es un parámetro de obligatorio conocimiento para caracterizar una muestra de este polisacárido, ya que esta propiedad tiene una gran incidencia en sus propiedades.

El grado de desacetilación es equivalente al porcentaje de grupos amino presentes en la cadena polimérica de quitosano<sup>(1)</sup>; Se han desarrollado numerosos métodos para determinarlo basados en diversas técnicas, entre las que se pueden mencionar la valoración potenciométrica, espectroscopía infrarroja, resonancia magnética nuclear de protón y ultravioleta primera derivada. Otras técnicas alternativas incluyen el análisis elemental, el análisis térmico y la cromatografía de permeación en gel<sup>(45)</sup>. Para fines de este estudio se utilizará la valoración potenciométrica para determinar el grado de desacetilación del quitosano que será utilizado como materia prima en la elaboración de las películas.

**Valoración potenciométrica**<sup>(1), (14), (43)</sup>

Procedimiento:

1. Pesar por separado tres muestras de 0.25 g de quitosano obtenido anteriormente y depositarlo en un erlenmeyer de 125.0 mL.
2. Agregar 10 mL de HCl 0.3 M a cada erlenmeyer, agitar hasta disolver.
3. Titular cada muestra potenciométricamente utilizando como titulante NaOH 0.1 N previamente estandarizado, haciendo uso de un pHmetro medir el cambio de pH que experimenta cada mezcla al añadir 1 mL de hidróxido de sodio 0.1 N hasta un volumen igual a 50.0 mL. Anotar en la tabla correspondiente (ver anexo N° 5).
4. Con los datos obtenidos construir los gráficos volumen vs. pH de cada una de las muestras y determinar el grado de desacetilación aplicando el criterio de la primera derivada.

Para determinar el grado de desacetilación se aplica la siguiente fórmula:

$$\%NH_2 = [16.1 (y - x) f] / w \quad (\text{Ecuación N}^{\circ}1)$$

Donde:

y: punto de inflexión mayor en la gráfica de la primera derivada.

x: punto de inflexión menor en la gráfica de la primera derivada.

f: normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

w: peso en gramos de la muestra.

16.1: factor relacionado con el peso equivalente.

#### 4.5.4. Elaboración de las películas<sup>(35), (48), (58)</sup>

Se elaborarán películas utilizando el método de moldeo en dos bases, teflón y poliestireno. Se obtiene una solución base de quitosano a partir de la cual se prepararon las soluciones compuestas que contenían cada una un plastificante diferente a dos concentraciones distintas logrando así cinco soluciones diferentes:

- Solución quitosano 2% en ácido acético al 1%.
- Solución quitosano 2% en ácido acético al 1% + glicerina 0.6%.
- Solución quitosano 2% en ácido acético al 1% + glicerina 1.2%.
- Solución quitosano 2% en ácido acético al 1% + aceite de oliva 0.6%.
- Solución quitosano 2% en ácido acético al 1% + aceite de oliva 1.2%.

A partir de estas soluciones se elaboraron 10 películas por triplicado con distintas características (ver anexo N° 6) utilizando para el moldeo 8 mL de solución, el cual es el volumen promedio utilizado en ensayos de estudios anteriores. Las cuales posteriormente fueron utilizadas para realizar los diferentes ensayos: elongación, espesor, textura de superficie, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua, con la finalidad de encontrar la película con las mejores propiedades de permeabilidad y elongación bajo las condiciones utilizadas.

#### **4.5.4.1. Preparación de la solución base de quitosano**

Preparar 2000 mL de una solución de quitosano al 2% en una solución de ácido acético al 1%.

Procedimiento:

Solución A

1. Colocar 40 g de quitosano en un balón volumétrico de 2000.0 mL.
2. Adicionar 1 L de solución de ácido acético al 1%.
3. Agitar hasta disolver, si es necesario calentar a 40 °C hasta disolución.
4. Aforar con ácido acético al 1% y homogenizar.
5. Rotular y almacenar la solución.

#### **4.5.4.2. Preparación de las soluciones para películas de quitosano compuestas**

A partir de la solución base de quitosano (solución A) preparar las soluciones para elaborar películas compuestas. Se utiliza glicerina y aceite de oliva como plastificantes en concentraciones de 0.6% y 1.2% para cada tipo de plastificante.

Procedimiento:

- Solución B

Quitosano más glicerina 0.6 %

1. Medir 1.5 mL de glicerina y adicionarlo a un balón volumétrico de 250.0 mL.
2. Adicionar 100 mL de solución madre de quitosano al 2% (solución A).
3. Agitar hasta obtener una solución homogénea.
4. Aforar con solución madre de quitosano y homogenizar.
5. Rotular y almacenar.

– Solución C

Quitosano más glicerina 1.2%

1. Medir 3 mL de glicerina y adicionarlo a un balón volumétrico de 250.0 mL.
2. Adicionar 100 mL de solución madre de quitosano al 2% (solución A).
3. Agitar hasta solución homogénea.
4. Aforar con solución madre de quitosano y homogenizar.
5. Rotular y almacenar.

– Solución D

Quitosano más aceite de oliva 0.6%

1. Medir 1.5 mL de aceite de oliva y adicionarlo a un balón volumétrico de 500.0 mL.
2. Adicionar 100 mL de solución madre de quitosano al 2% (Solución A).
3. Agitar hasta solución homogénea.
4. Aforar con solución madre de quitosano y homogenizar.
5. Rotular y almacenar.

– Solución E

Quitosano más aceite de oliva 1.2%

1. Medir 3 mL de aceite de oliva y adicionarlo a un balón volumétrico de 250.0 mL.
2. Adicionar 100 mL de solución madre de quitosano al 2%(Solución A).
3. Agitar hasta solución homogénea.
4. Aforar con solución madre de quitosano y homogenizar.
5. Rotular y almacenar.

#### **4.5.4.3. Formación de las películas**

Para obtener por el método de moldeo las distintas películas fue necesario verter las soluciones sobre recipientes de poliestireno y teflón de 60 mm de diámetro, dejar a temperatura ambiente por 96 horas y permitir que por evaporación del disolvente se forman las películas las cuales posteriormente se desmoldan. Para los análisis elongación se utilizaron placas de mayor tamaño 94 mm de diámetro.

#### Permeabilidad

Procedimiento solución base de quitosano (procedimiento A)

– Base poliestireno

1. Rotular la base con el número de película.
2. Limpiar la base con acetona y dejar secar.

3. Medir 8 mL de la solución a utilizar con una probeta de 10 mL.
  4. Verter la solución sobre la placa.
  5. Homogenizar sobre la superficie.
  6. Dejar secar por 96 horas a temperatura ambiente en una superficie plana.
  7. Separar la película con una pinza.
  8. Identificar y almacenar la película en un recipiente hermético para utilizarla posteriormente.
- Base teflón
1. Rotular la base con el número de película.
  2. Limpiar la base con acetona y dejar secar.
  3. Medir 8 mL de la solución a utilizar con una probeta de 10 mL.
  4. Verter la solución sobre la placa.
  5. Homogenizar sobre la superficie.
  6. Dejar secar por 96 horas a temperatura ambiente en una superficie plana.
  7. Separar la película con una pinza.
  8. Identificar y almacenar la película en un recipiente hermético para utilizarla posteriormente.

- Procedimiento solución compuesta B (Quitosano más glicerina 0.6 %)  
Repetir procedimiento A (base poliestireno y teflón).
- Procedimiento solución compuesta C (Quitosano más glicerina 1.2%)  
Repetir procedimiento A (base poliestireno y teflón).
- Procedimiento solución compuesta D (Quitosano más aceite de oliva 0.6%)  
Repetir procedimiento A (base poliestireno y teflón).
- Procedimiento solución compuesta E (Quitosano más aceite de oliva 1.2%)  
Repetir procedimiento A (base poliestireno y teflón).

#### Elongación

- Procedimiento solución base de quitosano (procedimiento B)  
Repetir procedimiento A utilizando 25 mL de solución por placa medida con una probeta de 25 mL
- Procedimiento solución compuesta D (Quitosano más glicerina 0.6 %)  
Repetir procedimiento B (base poliestireno y teflón).
- Procedimiento solución compuesta E (Quitosano más glicerina 1.2%)  
Repetir procedimiento B (base poliestireno y teflón).
- Procedimiento solución compuesta F (Quitosano más aceite de oliva 0.6%)  
Repetir procedimiento B (base poliestireno y teflón).
- Procedimiento solución compuesta G (Quitosano más aceite de oliva 1.2%)  
Repetir procedimiento B (base poliestireno y teflón).

#### **4.5.5. Evaluación de las propiedades de las películas**

Dentro de las propiedades de interés medidas en las películas encontramos el grosor, textura de superficie, elongación, solubilidad y la evaluación de la permeabilidad al vapor de agua. Previo a ello es indispensable contar con un buen diseño de recolección de los datos experimentales. A continuación se desarrollan individualmente cada uno de los procedimientos.

##### **4.5.5.1. Instrumentos de recolección de datos**

Los datos se recolectan en tablas diseñadas para tal fin, cada una para una medición específica, así como una codificación correspondiente para identificar cada película elaborada (ver anexo N° 7):

1. Grosor, en ésta se toman los datos de grosor de las películas que se utilizan en el ensayo de permeabilidad, en cinco puntos diferentes de la misma película, por lo que la tabla consta de una numeración para identificar la película y de columna para anotar los diferentes datos de grosor obtenidos. (ver anexo N° 8).
2. Solubilidad, se registran los datos de solubilidad en varios disolventes, en esta tabla se coloca una columna para identificar la película a la que se le prueba dicha propiedad en diversos disolventes (ver anexo N° 9).
3. Elongación, se anotan los resultados de la prueba de elongación de las películas preparadas bajo las mismas condiciones que las utilizadas para el

ensayo de permeabilidad, moldeadas con las dimensiones adecuadas a las especificaciones del ensayo y equipo (ver anexo N° 10).

4. Permeabilidad al vapor del agua, en esta se registran los pesos de los tubos en ensayo, los cuales son necesarios para llevar a cabo los cálculos posteriores, la tabla consta de una numeración secuencial que representa a cada tubo, y columnas para las diferentes mediciones (Ver anexo N° 11).

#### **4.5.5.2. Medición del grosor**

El espesor de una película que pretende ser utilizada en el futuro en la industria alimenticia es una propiedad importante, pues un gran número de sus propiedades son potencialmente dependientes de la misma, por ejemplo; en las películas a base de quitosano el grosor afecta sus propiedades de barrera.

Se mide el grosor en 5 puntos diferentes a cada película a utilizar en el ensayo de permeabilidad y a las destinadas al de elongación.

Procedimiento:

1. Tomar el micrómetro analógico Teclock modelo SM-112 y ejercer una leve presión para separar los pistones.
2. Coloque la película en el espacio formado entre los pistones.
3. Dejar de ejercer la fuerza para que los pistones se junten.
4. Tomar la lectura del grosor de la película y anotarla en la tabla respectiva.

5. Repetir el procedimiento hasta recolectar cinco datos por película.

#### **4.5.5.3. Textura de superficie**

Se realizó un análisis macroscópico en el laboratorio de LA-GEO. El cual consiste en observar la película a través de una lupa estereoscópica electrónica de alta potencia modelo LEICA EZ4 y la toma de una imagen mediante una cámara análoga que forma parte del equipo. Este análisis es útil para concluir como la superficie expuesta del film afecta la permeabilidad, así cómo el tipo de base utilizada para el moldeo influye en la textura de superficie.

#### **4.5.5.4. Medición de la elongación**

Las propiedades mecánicas de las películas son tan importantes como las propiedades de barrera. La fuerza de tensión, da una medida de la integridad y durabilidad de las películas para potenciales aplicaciones y el porcentaje de elongación es una medida que representa las propiedades de estiramiento de las mismas.

La prueba se realiza por triplicado para cada clase de películas (Quitosano, Quitosano más glicerina al 0.6% y 1.2% y aceite de oliva 0.6% y 1.2% tanto en base poliestireno como teflón), obteniendo así datos representativos de cada subgrupo de películas con composición diferente. Se utiliza para ello un equipo tipo HT-9102, marca HUNG-TA. La distancia entre ambas mandíbulas debe ser

de  $50 \pm 5$  mm. El mecanismo medidor y registrador es una computadora dotada de un software llamado rubber testing program, creado por la compañía HUNGTATA, que provee la fuerza (carga) ejercida a la película, en kilogramos (Kg), y el desplazamiento del film antes de romperse, en milímetros, además del alargamiento porcentual. Además, esta dotada de un transductor, que es el aparato que convierte una señal física en una señal eléctrica.

#### Procedimiento

1. Cortar tiras de la película con dimensiones 94 x 127mm.
2. Colocar los extremos de la tira en las mandíbulas de la maquina, dejando una distancia 50.0 mm entre ambas mandíbulas; ajustando bien la muestra.
3. Dejar funcionar el equipo hasta obtener los resultados.
4. Anotar los resultados en las tablas respectivas

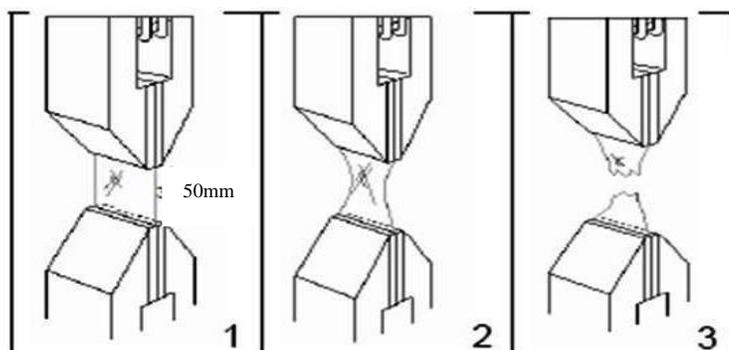


Figura N° 2: Diagrama de los ensayos mecánicos realizados a los films. El film se pone entre las mordazas (1). La mordaza superior tracciona el film (2) hasta su ruptura (3), momento en el que se determina el A% (Alargamiento Porcentual) y el ETC (Esfuerzo de Tracción en el Corte).

Se calculan ETC de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$ETC = C_{MAX}/A_R \quad (\text{Ecuación N}^\circ 2)$$

Donde:

ETC = Esfuerzo de tracción en el corte, en N/mm<sup>2</sup>

C<sub>MAX</sub> = Carga máxima de tracción en el corte del *film*, en N

A<sub>R</sub> = Área transversal inicial del *film*, en mm<sup>2</sup>

$$A_R = \varepsilon * A \quad (\text{Ecuación N}^\circ 3)$$

Donde:

A<sub>R</sub> = Área transversal inicial del *film*, en mm<sup>2</sup>

ε = Espesor del *film*, en mm

A = Ancho del *film*, en mm

#### 4.5.5.5. Solubilidad

El quitosano como tal tiene ciertas características de solubilidad, por ello la prueba se realiza con diferentes disolventes para cada clase de película, obteniendo así datos representativos de cada subgrupo de películas con composición diferente.

Procedimiento<sup>(14)</sup>:

1. Adicionar 0.01 g de la película a un tubo de ensayo.

2. Adicionar 1 mL del disolvente a probar.
3. Agitar el tubo y observar si hay disolución.
4. Si no hay disolución adicionar 2 mL más de disolvente.
5. Repetir paso N° 2.
6. Si la solución sigue turbia adicionar 7 mL más de disolvente.
7. Repetir paso N° 2.
8. Anotar los resultados en la tabla correspondiente (ver anexo N° 9).

Los disolventes a utilizar: agua desmineralizada, ácido acético al 1%, ácido clorhídrico 1 N y al 10%, hidróxido de sodio al 25% y al 10%.

#### **4.5.5.6. Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua**

Las técnicas gravimétricas son comúnmente utilizadas para determinar la permeabilidad al vapor de agua en películas. Para evaluarla se utiliza el método ASTM E 96/ E 96M-05. Existen dos técnicas, la que emplea desecante y la que utiliza agua, y esta última tiene dos variantes agua y agua invertida. En esta investigación se propone utilizar la técnica que usa desecante, realizándola por triplicado.

Las muestras se colocan en tubos de hemólisis de 7.5 cm de altura por 10 mm de diámetro interno, se les introduce Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) previamente desecado y llevado a peso constante, luego se procede a colocar la película de

quitosano sobre la boca del tubo y sellar con bandas de hule. Posteriormente se procede a recubrir los espacios sobrantes de la película con papel aluminio, según lo especificado en el método. Se deja en gradillas dentro de la cámara de prueba (ver anexo N° 10), bajo ciertas condiciones de %HR (68% - 84%) y Temperatura (28°C - 35°C) se trabajó con los promedios para el territorio salvadoreño según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). La ganancia o pérdida de peso de los tubos se monitorea en función del tiempo, obteniéndose datos suficientes para graficar la ganancia de peso vs tiempo. Los cambios de peso son registrados mediante una balanza analítica cada hora durante la primera semana hasta registrar de seis a siete pesos, la segunda solamente se toman cuatro y se va disminuyendo por semana hasta solamente registrar un peso diario; hasta peso constante o que el peso exceda más del 10% del peso inicial de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) utilizado en cada tubo.

Procedimiento:

1. Rotular cada tubo de hemólisis con el número de película correspondiente para no perder la identidad de las mismas.
2. Colocar en cada tubo cloruro de calcio previamente desecado a 200 °C hasta peso constante; llevar hasta 6 mm por debajo del borde.
3. Colocar en cada tubo la película correspondiente y sellar con una banda de hule adecuada.
4. Forrar las partes sobrantes de la película con papel de aluminio.

5. Registrar el peso inicial
6. Colocar cada tubo en la cámara ambiental previamente preparada a 75% de HR y 32.0°C de temperatura.
7. Registrar pesos en una balanza analítica cada hora.
8. Detener el registro de los pesos cuando el peso registrado exceda el 10% del peso inicial del desecante o se alcance un peso estacionario.

#### **4.5.6. Procesamiento de la información**

Después de registrar todos los datos necesarios en las tablas de recolección de pesos (ver anexo N° 9), se procesó la información a través de una gráfica de dispersión, en la cual se dispusieron los pesos en función del tiempo (ganancia de peso vs. tiempo) y se realizó una regresión lineal para calcular la pendiente, misma que al dividirse entre el área de la película resultó el WVT (índice de transferencia al vapor de agua), consecuentemente el cociente que resulta de dividir el WVT entre la presión de vapor del agua a una temperatura dada y la diferencia de las humedades relativas define el valor de Permeanza, la cual al multiplicarse por el espesor proporciona la WVP (permeabilidad al vapor de agua). Para ilustrar correctamente el procesamiento de la información los datos se trataron y sustituyeron en la siguiente secuencia de ecuaciones:

$$\text{Aumento} = p_n - p_i \quad (\text{Ecuación N}^\circ 4)$$

Donde:

Aumento = ganancia de peso en el tubo en un periodo determinado.

$p_n$  = peso del tubo tomado en un tiempo conocido.

$p_i$  = peso inicial del tubo en el ensayo.

$$\text{Aumento corregido} = \text{Aumento}_n - \text{aumento control}_n \quad (\text{Ecuación N}^\circ 5)$$

Donde:

Aumento corregido = aumento de peso menos el aumento del tubo testigo.

$\text{Aumento}_n$  = aumento de un tubo dado a un tiempo determinado.

$\text{Aumento control}_n$  = aumento del tubo testigo correspondiente al tubo n.

$$\text{WVT} = dm / dt \times 1/A \quad (\text{Ecuación N}^\circ 6)$$

En donde:

WVT = índice de transferencia al vapor de agua o coeficiente de transmisión de vapor de agua.

$dm / dt$  = diferencia de masa a través del tiempo.

A = área de la película expuesta.

$$\text{Permeanza} = \text{WVT} / (P_{A2} - P_{A1}) = \text{WVT} / S(R_1 - R_2) \quad (\text{Ecuación N}^\circ 7)$$

En donde:

$P_{A2}$  = presión sobre la película, kPa.

$P_{A1}$  = presión a la cual esta sujeta la película al interior del tubo, kPa.

$S$  = presión de vapor de saturación a la temperatura experimental, kPa.

$R_1$  = humedad relativa de la cámara, en fracción.

$R_2$  = humedad relativa interna del tubo de prueba, en fracción.

$$WVP = \text{Permeanza} \times \text{grosor} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 8)$$

En donde:

WVP = permeabilidad al vapor de agua, g mm / h m<sup>2</sup> kPa.

#### **4.5.7. Análisis e interpretación de los datos**

El análisis estadístico de los datos se realizó en forma escalonada, ya que los datos obtenidos se encuentran en diferentes niveles (ver anexo N° 13):

- Nivel 1: concentración 1 y 2 de cada plastificante.
- Nivel 2: película de quitosano más plastificante (quitosano + glicerina y quitosano + aceite de oliva) y quitosano solo.
- Nivel 3: bases poliestireno y teflón.

##### Nivel 1

Se comparan las diferentes características de permeabilidad, elongación y solubilidad de las películas de un mismo plastificante, es decir plastificante 1 concentración 1 vs plastificante 1 concentración 2, de igual forma para el plastificante 2. Utilizando gráficos de barras tanto para permeabilidad como

para elongación y en cuanto a la solubilidad se realiza únicamente un cuadro comparativo. El análisis estadístico utilizado corresponde al análisis de varianza simple.

### Nivel 2

Se comparan las características de las películas tomando como variable el tipo de plastificante y/o su ausencia. Utilizando para ello gráficos de barras y tablas comparativas. El análisis estadístico utilizado corresponde al análisis de varianza de dos factores.

### Nivel 3

Luego se comparan la variabilidad de las características debido al tipo de base empleada para el moldeo, utilizando gráficos de barras como instrumento y tablas de comparación. El análisis estadístico corresponde al análisis de varianza de tres factores.

Finalmente se propone la película que presenta las mejores características para ser utilizadas como barrera de recubrimiento, a través de los análisis comparativos realizados y de las diferentes propiedades medidas en las películas elaboradas; concluyendo sobre su viabilidad de uso en las industrias alimenticias salvadoreñas.

## **V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS**

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Durante el desarrollo de los resultados se utilizará la siguiente codificación en las películas:

Tabla N° 1 Códigos de identificación que corresponden a cada película

| Base         | Composición de la película de quitosano |               | N° de película | Código      |
|--------------|---|---------------|----------------|-------------|
|              | plastificante                           | Concentración |                |             |
| Poliestireno | Ninguno                                 | -----         | 1              | 1/MPQ       |
| Poliestireno | Ninguno                                 | -----         | 2              | 2/MPQ       |
| Poliestireno | Ninguno                                 | -----         | 3              | 3/MPQ       |
| Poliestireno | Glicerina                               | 0,6           | 4              | 1/MPQG/0.6  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 0,6           | 5              | 2/MPQG/0.6  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 0,6           | 6              | 3/MPQG/0.6  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 1,2           | 7              | 1/MPQG/1.2  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 1,2           | 8              | 2/MPQG/1.2  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 1,2           | 9              | 3/MPQG/1.2  |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 0,6           | 10             | 1/MPQAO/0.6 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 0,6           | 11             | 2/MPQAO/0.6 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 0,6           | 12             | 3/MPQAO/0.6 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 1,2           | 13             | 1/MPQAO/1.2 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 1,2           | 14             | 2/MPQAO/1.2 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 1,2           | 15             | 3/MPQAO/1.2 |
| Teflón       | Ninguno                                 | -----         | 16             | 1/MTQ       |
| Teflón       | Ninguno                                 | -----         | 17             | 2/MTQ       |
| Teflón       | Ninguno                                 | -----         | 18             | 3/MTQ       |
| Teflón       | Glicerina                               | 0,6           | 19             | 1/MTQG/0.6  |
| Teflón       | Glicerina                               | 0,6           | 20             | 2/MTQG/0.6  |
| Teflón       | Glicerina                               | 0,6           | 21             | 3/MTQG/0.6  |
| Teflón       | Glicerina                               | 1,2           | 22             | 1/MTQG/1.2  |
| Teflón       | Glicerina                               | 1,2           | 23             | 2/MTQG/1.2  |
| Teflón       | Glicerina                               | 1,2           | 24             | 3/MTQG/1.2  |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 0,6           | 25             | 1/MTQAO/0.6 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 0,6           | 26             | 2/MTQAO/0.6 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 0,6           | 27             | 3/MTQAO/0.6 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 1,2           | 28             | 1/MTQAO/1.2 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 1,2           | 29             | 2/MTQAO/1.2 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 1,2           | 30             | 3/MTQAO/1.2 |

## 5.1. Caracterización del quitosano

### 5.1.1. Grado de desacetilación

El contenido de grupos amino en las muestras de quitosano se determinó por titulación potenciométrica. Para ello se disolvió el polímero en ácido clorhídrico 0.3 M y se valoró la mezcla con hidróxido de sodio 0.1 N, tal y como se describió previamente. Los resultados de la valoración se muestran en la tabla N° 2.

Donde:

**V(mL):** Volumen de Hidróxido de sodio añadido.

**pH:** Incremento de pH que se experimenta la mezcla por cada mL de base adicionada.

$\bar{V}$  (mL): Volumen promedio que se calcula con la fórmula:  $(V_1 + V_2)/2$ , para cada adicción, por ejemplo el volumen promedio al adicionar el mililitro 5 de NaOH 0.1N será:  $(4+5)/2 = 4.5$  mL

**$\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$ :** Es el cambio de pH con respecto al volumen y se calcula dividiendo  $\Delta\text{pH}$  entre  $\Delta\text{V}$ , en donde:  $\Delta\text{pH} = \text{pH}_2 - \text{pH}_1$  y  $\Delta\text{V} = V_2 - V_1$

Ejemplo de cálculo (ver anexo N° 14)

Tabla N° 2: Resultados titulaciones del quitosano utilizado para la elaboración de las películas.

| PRIMERA TITULACIÓN |             |                |                            | SEGUNDA TITULACIÓN |             |                |                            | TERCERA TITULACIÓN |              |                |                            |
|--------------------|-------------|----------------|----------------------------|--------------------|-------------|----------------|----------------------------|--------------------|--------------|----------------|----------------------------|
|                    |             | 1a Derivada    |                            |                    |             | 1a Derivada    |                            |                    |              | 1a Derivada    |                            |
| V(mL)              | pH          | $\bar{V}$ (mL) | $\Delta\text{pH}/\Delta V$ | V (mL)             | pH          | $\bar{V}$ (mL) | $\Delta\text{pH}/\Delta V$ | V(mL)              | pH           | $\bar{V}$ (mL) | $\Delta\text{pH}/\Delta V$ |
| 0                  | 1,19        |                |                            | 0                  | 1,14        |                |                            | 0                  | 1,06         |                |                            |
| 1                  | 1,26        | 0,5            | 0,07                       | 1                  | 1,21        | 0,5            | 0,07                       | 1                  | 1,08         | 0,5            | 0,02                       |
| 2                  | 1,34        | 1,5            | 0,08                       | 2                  | 1,25        | 1,5            | 0,04                       | 2                  | 1,14         | 1,5            | 0,06                       |
| 3                  | 1,35        | 2,5            | 0,01                       | 3                  | 1,25        | 2,5            | 0,00                       | 3                  | 1,16         | 2,5            | 0,02                       |
| 4                  | 1,39        | 3,5            | 0,04                       | 4                  | 1,33        | 3,5            | 0,08                       | 4                  | 1,21         | 3,5            | 0,05                       |
| 5                  | 1,41        | 4,5            | 0,02                       | 5                  | 1,39        | 4,5            | 0,06                       | 5                  | 1,25         | 4,5            | 0,04                       |
| 6                  | 1,43        | 5,5            | 0,02                       | 6                  | 1,44        | 5,5            | 0,05                       | 6                  | 1,26         | 5,5            | 0,01                       |
| 7                  | 1,47        | 6,5            | 0,04                       | 7                  | 1,47        | 6,5            | 0,03                       | 7                  | 1,31         | 6,5            | 0,05                       |
| 8                  | 1,52        | 7,5            | 0,05                       | 8                  | 1,49        | 7,5            | 0,02                       | 8                  | 1,37         | 7,5            | 0,06                       |
| 9                  | 1,56        | 8,5            | 0,04                       | 9                  | 1,52        | 8,5            | 0,03                       | 9                  | 1,42         | 8,5            | 0,05                       |
| 10                 | 1,60        | 9,5            | 0,04                       | 10                 | 1,57        | 9,5            | 0,05                       | 10                 | 1,46         | 9,5            | 0,04                       |
| 11                 | 1,65        | 10,5           | 0,05                       | 11                 | 1,64        | 10,5           | 0,07                       | 11                 | 1,52         | 10,5           | 0,06                       |
| 12                 | 1,70        | 11,5           | 0,05                       | 12                 | 1,66        | 11,5           | 0,02                       | 12                 | 1,57         | 11,5           | 0,05                       |
| 13                 | 1,76        | 12,5           | 0,06                       | 13                 | 1,68        | 12,5           | 0,02                       | 13                 | 1,65         | 12,5           | 0,08                       |
| 14                 | 1,84        | 13,5           | 0,08                       | 14                 | 1,79        | 13,5           | 0,11                       | 14                 | 1,71         | 13,5           | 0,06                       |
| 15                 | 1,91        | 14,5           | 0,07                       | 15                 | 1,88        | 14,5           | 0,09                       | 15                 | 1,78         | 14,5           | 0,07                       |
| 16                 | 1,97        | 15,5           | 0,06                       | 16                 | 1,98        | 15,5           | 0,10                       | 16                 | 1,88         | 15,5           | 0,10                       |
| 17                 | 2,09        | 16,5           | 0,12                       | 17                 | 2,11        | 16,5           | 0,13                       | 17                 | 1,98         | 16,5           | 0,10                       |
| 18                 | 2,20        | 17,5           | 0,11                       | 18                 | 2,29        | 17,5           | 0,18                       | 18                 | 2,12         | 17,5           | 0,14                       |
| 19                 | 2,40        | 18,5           | 0,20                       | 19                 | 2,59        | 18,5           | 0,30                       | 19                 | 2,37         | 18,5           | 0,25                       |
| 20                 | 2,75        | 19,5           | 0,35                       | 20                 | 2,86        | 19,5           | 0,27                       | 20                 | 2,74         | 19,5           | 0,37                       |
| <b>21</b>          | <b>5,01</b> | <b>20,5</b>    | <b>2,26</b>                | <b>21</b>          | <b>5,03</b> | <b>20,5</b>    | <b>2,17</b>                | <b>21</b>          | <b>5,07</b>  | <b>20,5</b>    | <b>2,33</b>                |
| 22                 | 5,38        | 21,5           | 0,37                       | 22                 | 5,31        | 21,5           | 0,28                       | 22                 | 5,29         | 21,5           | 0,22                       |
| 23                 | 5,66        | 22,5           | 0,28                       | 23                 | 5,52        | 22,5           | 0,21                       | 23                 | 5,49         | 22,5           | 0,20                       |
| 24                 | 5,86        | 23,5           | 0,20                       | 24                 | 5,64        | 23,5           | 0,12                       | 24                 | 5,66         | 23,5           | 0,17                       |
| 25                 | 6,06        | 24,5           | 0,20                       | 25                 | 5,83        | 24,5           | 0,19                       | 25                 | 5,87         | 24,5           | 0,21                       |
| 26                 | 6,17        | 25,5           | 0,11                       | 26                 | 6,05        | 25,5           | 0,22                       | 26                 | 6,05         | 25,5           | 0,18                       |
| 27                 | 6,29        | 26,5           | 0,12                       | 27                 | 6,17        | 26,5           | 0,12                       | 27                 | 6,21         | 26,5           | 0,16                       |
| 28                 | 6,41        | 27,5           | 0,12                       | 28                 | 6,31        | 27,5           | 0,14                       | 28                 | 6,42         | 27,5           | 0,21                       |
| 29                 | 6,55        | 28,5           | 0,14                       | 29                 | 6,44        | 28,5           | 0,13                       | 29                 | 6,65         | 28,5           | 0,23                       |
| 30                 | 6,68        | 29,5           | 0,13                       | 30                 | 6,59        | 29,5           | 0,15                       | 30                 | 6,78         | 29,5           | 0,13                       |
| 31                 | 6,81        | 30,5           | 0,13                       | 31                 | 6,71        | 30,5           | 0,12                       | 31                 | 6,93         | 30,5           | 0,15                       |
| 32                 | 6,94        | 31,5           | 0,13                       | 32                 | 6,89        | 31,5           | 0,18                       | 32                 | 7,55         | 31,5           | 0,62                       |
| 33                 | 7,55        | 32,5           | 0,61                       | 33                 | 7,56        | 32,5           | 0,67                       | 33                 | 8,25         | 32,5           | 0,70                       |
| <b>34</b>          | <b>9,82</b> | <b>33,5</b>    | <b>2,27</b>                | <b>34</b>          | <b>9,72</b> | <b>33,5</b>    | <b>2,16</b>                | <b>34</b>          | <b>10,54</b> | <b>33,5</b>    | <b>2,29</b>                |
| 35                 | 11,13       | 34,5           | 1,31                       | 35                 | 10,70       | 34,5           | 0,98                       | 35                 | 11,27        | 34,5           | 0,73                       |

Tabla N° 2: continuación...

| PRIMERA TITULACIÓN |       |                |                            | SEGUNDA TITULACIÓN |       |                |                            | TERCERA TITULACIÓN |       |                |                            |
|--------------------|-------|----------------|----------------------------|--------------------|-------|----------------|----------------------------|--------------------|-------|----------------|----------------------------|
|                    |       | 1a Derivada    |                            |                    |       | 1a Derivada    |                            |                    |       | 1a Derivada    |                            |
| V(mL)              | pH    | $\bar{V}$ (mL) | $\Delta\text{pH}/\Delta V$ | V (mL)             | pH    | $\bar{V}$ (mL) | $\Delta\text{pH}/\Delta V$ | V(mL)              | pH    | $\bar{V}$ (mL) | $\Delta\text{pH}/\Delta V$ |
| 36                 | 11,40 | 35,5           | 0,27                       | 36                 | 11,20 | 35,5           | 0,50                       | 36                 | 11,49 | 35,5           | 0,22                       |
| 37                 | 11,54 | 36,5           | 0,14                       | 37                 | 11,40 | 36,5           | 0,20                       | 37                 | 11,62 | 36,5           | 0,13                       |
| 38                 | 11,66 | 37,5           | 0,12                       | 38                 | 11,52 | 37,5           | 0,12                       | 38                 | 11,72 | 37,5           | 0,10                       |
| 39                 | 11,71 | 38,5           | 0,05                       | 39                 | 11,62 | 38,5           | 0,10                       | 39                 | 11,77 | 38,5           | 0,05                       |
| 40                 | 11,72 | 39,5           | 0,01                       | 40                 | 11,65 | 39,5           | 0,03                       | 40                 | 11,83 | 39,5           | 0,06                       |
| 41                 | 11,86 | 40,5           | 0,14                       | 41                 | 11,69 | 40,5           | 0,04                       | 41                 | 11,88 | 40,5           | 0,05                       |
| 42                 | 11,91 | 41,5           | 0,05                       | 42                 | 11,72 | 41,5           | 0,03                       | 42                 | 11,91 | 41,5           | 0,03                       |
| 43                 | 11,94 | 42,5           | 0,03                       | 43                 | 11,79 | 42,5           | 0,07                       | 43                 | 11,94 | 42,5           | 0,03                       |
| 44                 | 11,96 | 43,5           | 0,02                       | 44                 | 11,82 | 43,5           | 0,03                       | 44                 | 11,98 | 43,5           | 0,04                       |
| 45                 | 11,98 | 44,5           | 0,02                       | 45                 | 11,86 | 44,5           | 0,04                       | 45                 | 12,00 | 44,5           | 0,02                       |
| 46                 | 11,99 | 45,5           | 0,01                       | 46                 | 11,87 | 45,5           | 0,01                       | 46                 | 12,01 | 45,5           | 0,01                       |
| 47                 | 12,00 | 46,5           | 0,01                       | 47                 | 11,91 | 46,5           | 0,04                       | 47                 | 12,03 | 46,5           | 0,02                       |
| 48                 | 12,03 | 47,5           | 0,03                       | 48                 | 11,92 | 47,5           | 0,01                       | 48                 | 12,06 | 47,5           | 0,03                       |
| 49                 | 12,04 | 48,5           | 0,01                       | 49                 | 11,93 | 48,5           | 0,01                       | 49                 | 12,08 | 48,5           | 0,02                       |
| 50                 | 12,05 | 49,5           | 0,01                       | 50                 | 11,97 | 49,5           | 0,04                       | 50                 | 12,09 | 49,5           | 0,01                       |

En la tabla N° 2 se puede observar que a medida se va adicionando NaOH 0.1N el pH incrementa levemente, hasta un punto en el cual el cambio es bastante considerable. El volumen promedio en que se da este cambio es el punto de inflexión menor, posteriores adiciones de base no incrementan el pH sustancialmente, hasta que nuevamente se observa un cambio brusco de pH, el cual es el punto de inflexión mayor, dichos puntos de inflexión se muestran en negrita en la tabla N° 2.

A continuación se presentan los gráficos de la primera titulación potenciométrica y primera derivada del quitosano en análisis (ver tabla N° 2).

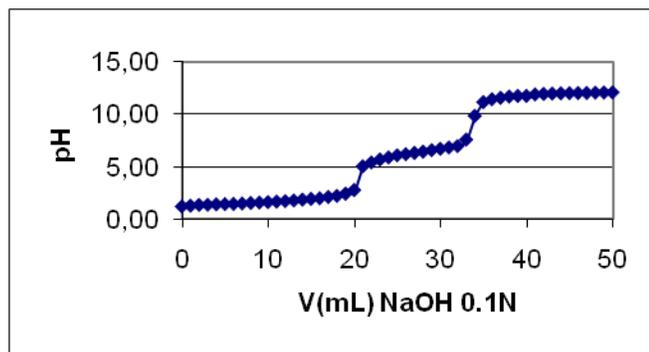


Figura N° 3 Gráfico primera valoración potenciométrica

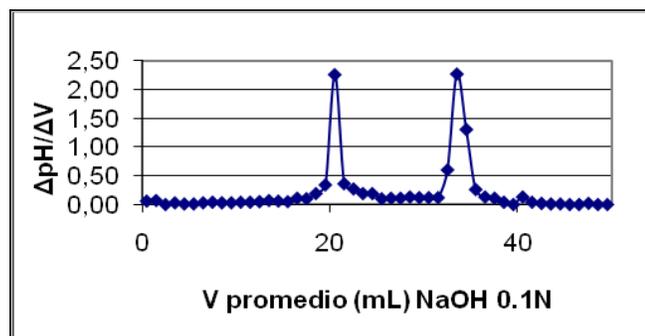


Figura N° 4 Gráfico primera derivada de 1ª valoración potenciométrica

En la figura N° 3 se observa gráficamente los resultados de la primera valoración potenciométrica, en la cual no se logra visualizar los puntos de inflexión, mientras que en la figura N° 4 se observan claramente dos máximos que corresponden a los puntos de inflexión, los cuales son necesarios para el cálculo del grado de desacetilación y corresponde a los valores de 2.26 y 2.27 respectivamente.

En los siguientes dos gráficos se muestran los resultados obtenidos en la segunda titulación potenciométrica y primera derivada del quitosano en análisis (ver tabla N° 2).

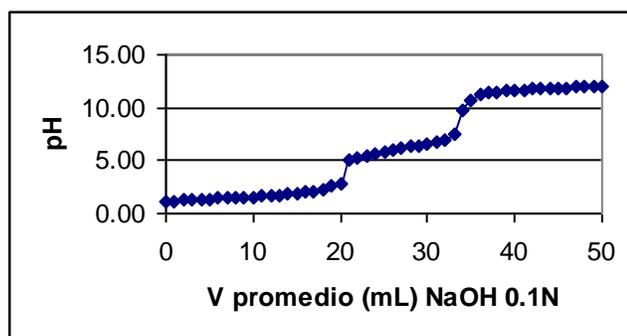


Figura N° 5 Gráfico segunda valoración potenciométrica

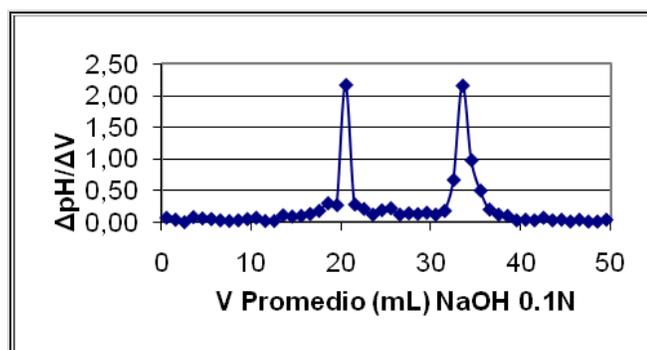


Figura N° 6 Gráfico primera derivada de 2ª valoración potenciométrica

Se puede observar que los gráficos de la segunda titulación son similares a los de la primera (figura N° 3), ya que los puntos de inflexión se encuentran en los mismos volúmenes promedios de NaOH 0.1 N adicionado.

En las figuras N° 7 y N° 8 se representa gráficamente los resultados obtenidos en la tercera titulación potenciométrica y su primera derivada del quitosano en análisis (ver tabla N° 2).

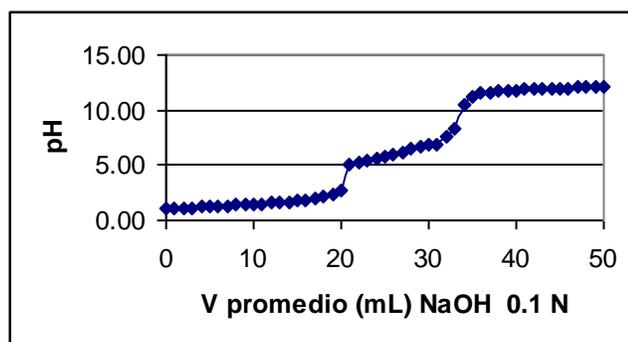


Figura N° 7 Gráfico tercera valoración potenciométrica

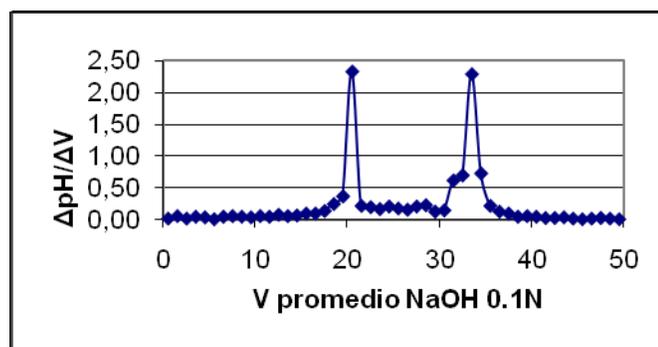


Figura N° 8 Gráfico primera derivada de 3ª valoración potenciométrica

Se observa que la figura N° 7 y N° 8 son similares a los gráficos de la primera y segunda titulación, esto se debe a que las tres titulaciones pertenecen a la

misma muestra de quitosano, el cual se obtuvo bajo las mismas condiciones experimentales.

En los tres casos se produce una curva de titulación con dos puntos de inflexión, cuyos valores se determinaron según el criterio de la primera derivada. La diferencia entre los dos puntos de inflexión en la curva de titulación corresponde a la cantidad de ácido requerido para protonar los grupos aminos del quitosano, la concentración de estos se determina utilizando la ecuación N° 1 (ver página N° 59):

Tabla N° 3: Resumen de resultados del grado de desacetilación

| No de titulación | Peso muestra | x**   | y**   | % NH <sub>2</sub> |
|------------------|--------------|-------|-------|-------------------|
| 1                | 0,249        | 22,61 | 36,95 | 92,71             |
| 2                | 0,250        | 22,61 | 36,95 | 92,34             |
| 3                | 0,249        | 22,61 | 36,95 | 92,71             |
| Promedio         | -----        | ----- | ----- | 92,58             |

\*\* Los valores "x" e "y" han sido corregidos con el factor de corrección del NaOH 0.1 N

En la tabla N° 3 se presentan los resultados obtenidos de las tres titulaciones potenciométricas de las muestras provenientes de quitosano obtenido por reflujo en NaOH al 50% a un rango de temperatura entre 117°C y 121°C por 4 horas, se observa que los resultados del grado de desacetilación entre las muestras es similar, lo que indica que se obtuvo un producto homogéneo del proceso.

## 5.2. Evaluación de las propiedades de las películas

### 5.2.1 Medición del grosor

La medición del grosor se llevó a cabo con un micrómetro analógico Teclock modelo SM-112, se midió el grosor a 30 películas destinadas a ser utilizadas en el ensayo de permeabilidad, además se analizaron 30 tiras de películas reservadas para el ensayo de elongación. A continuación se presentan los resultados en las tablas N° 4 y N° 5 respectivamente.

Tabla N° 4 Resultados de la medición del grosor de películas de quitosano para ensayo de permeabilidad.

| <b>Código</b>      | <b>1<sup>o**</sup></b> | <b>2<sup>o**</sup></b> | <b>3<sup>o**</sup></b> | <b>4<sup>o**</sup></b> | <b>5<sup>o**</sup></b> | <b>Promedio**</b> |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| <b>1/MPQ</b>       | 0,10                   | 0,10                   | 0,12                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,10              |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,10                   | 0,09                   | 0,08                   | 0,09                   | 0,09                   | 0,09              |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,11                   | 0,09                   | 0,09                   | 0,09                   | 0,08                   | 0,09              |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,09                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,09                   | 0,10              |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,10                   | 0,11                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,10              |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,11                   | 0,11                   | 0,11                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,11              |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 0,13                   | 0,12                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,12                   | 0,12              |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 0,13                   | 0,12                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,12                   | 0,12              |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 0,13                   | 0,13                   | 0,13                   | 0,11                   | 0,12                   | 0,12              |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,14                   | 0,17                   | 0,17                   | 0,14                   | 0,14                   | 0,15              |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,14                   | 0,14                   | 0,16                   | 0,15                   | 0,14                   | 0,15              |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,15                   | 0,15                   | 0,14                   | 0,13                   | 0,13                   | 0,14              |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,15                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,12                   | 0,12                   | 0,13              |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,12                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,13                   | 0,12                   | 0,12              |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,12                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,12                   | 0,12                   | 0,12              |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,10                   | 0,08                   | 0,08                   | 0,08                   | 0,10                   | 0,09              |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,12                   | 0,09                   | 0,09                   | 0,10                   | 0,09                   | 0,10              |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,10                   | 0,10                   | 0,09                   | 0,09                   | 0,09                   | 0,09              |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,13                   | 0,10                   | 0,10                   | 0,12                   | 0,11                   | 0,11              |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,12                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,12                   | 0,11                   | 0,12              |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,13                   | 0,12                   | 0,12                   | 0,12                   | 0,13                   | 0,12              |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 0,15                   | 0,14                   | 0,14                   | 0,14                   | 0,15                   | 0,14              |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 0,15                   | 0,14                   | 0,15                   | 0,14                   | 0,14                   | 0,14              |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 0,15                   | 0,15                   | 0,15                   | 0,14                   | 0,15                   | 0,15              |

\*\* Valores dados en mm

Tabla N° 4 Continuación...

| Código      | 1 <sup>o**</sup> | 2 <sup>o**</sup> | 3 <sup>o**</sup> | 4 <sup>o**</sup> | 5 <sup>o**</sup> | Promedio** |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| 1/MTQAO/0.6 | 0,15             | 0,16             | 0,16             | 0,15             | 0,15             | 0,15       |
| 2/MTQAO/0.6 | 0,17             | 0,16             | 0,17             | 0,15             | 0,16             | 0,16       |
| 3/MTQAO/0.6 | 0,16             | 0,16             | 0,17             | 0,16             | 0,17             | 0,16       |
| 1/MTQAO/1.2 | 0,16             | 0,15             | 0,16             | 0,17             | 0,18             | 0,16       |
| 2/MTQAO/1.2 | 0,15             | 0,16             | 0,17             | 0,15             | 0,15             | 0,16       |
| 3/MTQAO/1.2 | 0,15             | 0,16             | 0,15             | 0,16             | 0,16             | 0,16       |

\*\* Valores dados en mm

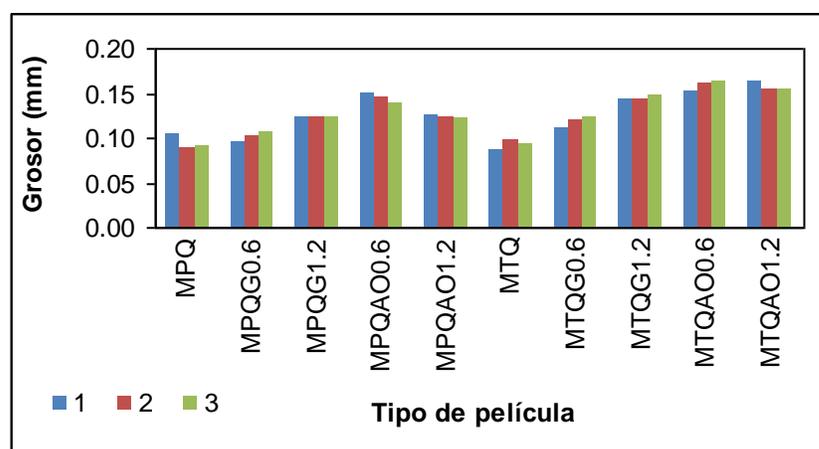


Figura N° 9 Gráfico comparativo de espesor de los diferentes tipos de películas.

Nota: los número de serie 1, 2 y 3 corresponden a un sub número dentro de cada categoría de tipo de película como por ejemplo la barra color azul corresponde a la película N° 1 dentro de la categoría MPQ.

Como se observa en la tabla N° 4 y figura N° 9 la variación en la composición de las películas afectó el grosor ya que si se compara el grosor entre las películas de igual composición no existe mayor variación por ejemplo en el grupo MPQ el grosor de la película N° 2 y N° 3 es 0.09 mm y la N° 1 es 0.1 mm una discrepancia de 0.01 mm, sin embargo, cuando se confronta entre dos tipos diferentes de composición se verifica claramente una divergencia como se

puede observar si se compara el film N° 1 del grupo MTP con 0.10 mm existe una diferencia de 0.05 mm con respecto al N° 1 del grupo MTPG0.6.

Tabla N° 5 Resultados de la medición del grosor de películas de quitosano para ensayo de elongación.

| Código             | 1 <sup>o**</sup> | 2 <sup>o**</sup> | 3 <sup>o**</sup> | 4 <sup>o**</sup> | 5 <sup>o**</sup> | Promedio ** |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| <b>1/MPQ</b>       | 0,11             | 0,10             | 0,11             | 0,10             | 0,10             | 0,10        |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,10             | 0,09             | 0,09             | 0,09             | 0,10             | 0,09        |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,10             | 0,10             | 0,09             | 0,09             | 0,09             | 0,09        |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,10             | 0,10             | 0,09             | 0,10             | 0,09             | 0,10        |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,11             | 0,10             | 0,10             | 0,11             | 0,10             | 0,10        |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,10             | 0,11             | 0,10             | 0,11             | 0,11             | 0,11        |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 0,12             | 0,12             | 0,12             | 0,11             | 0,12             | 0,12        |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 0,12             | 0,12             | 0,11             | 0,11             | 0,12             | 0,12        |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 0,12             | 0,12             | 0,11             | 0,11             | 0,12             | 0,12        |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,15             | 0,16             | 0,16             | 0,14             | 0,14             | 0,15        |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,15             | 0,14             | 0,15             | 0,15             | 0,14             | 0,15        |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,14             | 0,15             | 0,15             | 0,14             | 0,14             | 0,14        |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,13             | 0,12             | 0,13             | 0,13             | 0,12             | 0,13        |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,11             | 0,12             | 0,12             | 0,13             | 0,12             | 0,12        |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,13             | 0,12             | 0,12             | 0,12             | 0,13             | 0,12        |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,10             | 0,09             | 0,09             | 0,09             | 0,09             | 0,09        |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,11             | 0,10             | 0,09             | 0,10             | 0,11             | 0,10        |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,08             | 0,09             | 0,09             | 0,09             | 0,10             | 0,09        |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,12             | 0,11             | 0,10             | 0,12             | 0,11             | 0,11        |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,11             | 0,12             | 0,12             | 0,12             | 0,11             | 0,12        |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,13             | 0,12             | 0,12             | 0,13             | 0,13             | 0,13        |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 0,14             | 0,13             | 0,13             | 0,14             | 0,14             | 0,14        |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 0,14             | 0,13             | 0,14             | 0,14             | 0,13             | 0,14        |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 0,14             | 0,15             | 0,15             | 0,14             | 0,15             | 0,15        |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,14             | 0,15             | 0,14             | 0,15             | 0,15             | 0,15        |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,16             | 0,16             | 0,15             | 0,15             | 0,16             | 0,16        |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,16             | 0,16             | 0,16             | 0,17             | 0,17             | 0,16        |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,16             | 0,16             | 0,16             | 0,15             | 0,16             | 0,16        |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,15             | 0,16             | 0,16             | 0,15             | 0,15             | 0,15        |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,15             | 0,15             | 0,15             | 0,16             | 0,16             | 0,15        |

\*\* Valores dados en mm

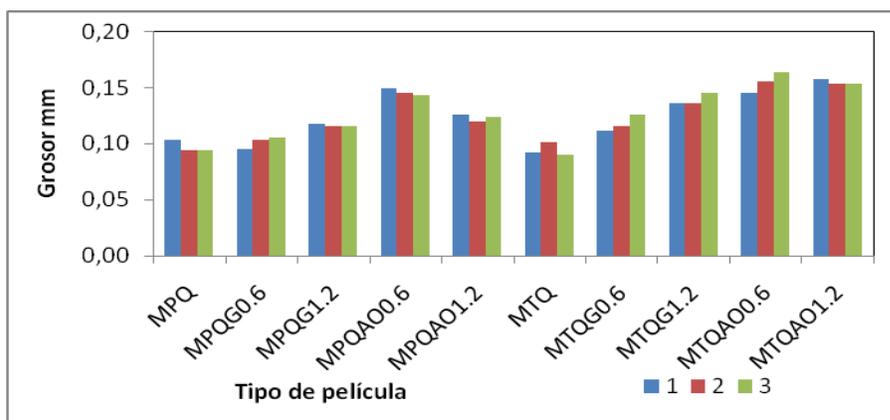


Figura N° 10 Gráfico de resultados de los grosores de las diferentes películas para elongación.

Nota: los número de serie 1, 2 y 3 corresponden a un sub número dentro de cada categoría de tipo de película como por ejemplo la barra color azul corresponde a la película N° 1 dentro de la categoría MPQ.

En la tabla N° 5 y figura N° 10 si de compara losl film N° 1 del grupo MTQ con un grosor de 0.09 mm vs el del grupo MTQG1.2 con 0.14 hay 0.05 mm de diferencia, dichas películas vs la del grupo MTQAO1.2 con 0.16 mm hay 0.7 mm mas con respecto a el primero y 0.02 mm con el segundo. Por lo tanto la composición de las películas afecta la característica del grosor de estas.

### 5.2.2. Textura de superficie

Según los resultados (ver anexo N° 15) del análisis macroscópico las películas moldeadas ya sea en base poliestireno o teflón presentan una superficie rugosa, con pliegues de color amarillo traslucido en zonas donde la concentración del material de depósito es mayor y transparente donde es menor. Del lado donde el filme esta en contacto directo con la base de poliestireno las películas son lisas y las de teflón presentan porosidad.

### 5.2.3. Medición de elongación

Se evaluaron el Alargamiento Porcentual (A%) y el Esfuerzo de Tracción en el Corte (ETC) (ver tabla N° 5). Las películas fueron sometidas a la tracción por la mordaza superior a una velocidad de 50mm/min. Al momento de producirse el corte del film con los datos entregados por el software rubber testing program de control del equipo tipo HT-9102, marca HUNG-TA se calculó el ETC de acuerdo con las ecuaciones N° 2 y N° 3 (ver página N° 70).

Ejemplo de cálculo (ver anexo N° 16)

Tabla N° 6 Resultados de la medición de elongación A% y ETC

| Código película | C máx. de tracción (N)** | Distancia de alargamiento(mm)** | A%**    | ETC(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------|---------|-------------------------|
| 1/MPQ           | 3,33                     | 3,13                            | 8,39    | 0,253                   |
| 2/MPQ           | 3,24                     | 3,74                            | 10,62   | 0,271                   |
| 3/MPQ           | 2,26                     | 3,48                            | 9,91    | 0,189                   |
| 1/MPQG/0.6      | 2,55                     | 8,18                            | 18,19   | 0,209                   |
| 2/MPQG/0.6      | 3,04                     | 6,84                            | 17,34   | 0,230                   |
| 3/MPQG/0.6      | 2,65                     | 7,44                            | 18,63   | 0,197                   |
| 1/MPQG/1.2      | 1,67                     | 3,90                            | 7,80*** | 0,111                   |
| 2/MPQG/1.2      | 2,06                     | 4,70                            | 9,39*** | 0,140                   |
| 3/MPQG/1.2      | 1,77                     | 10,15                           | 20,31   | 0,120                   |
| 1/MPQAO/0.6     | 1,77                     | 1,55                            | 3,88    | 0,093                   |
| 2/MPQAO/0.6     | 1,37                     | 0,99                            | 3,04    | 0,074                   |
| 3/MPQAO/0.6     | 1,47                     | 1,41                            | 4,78    | 0,080                   |
| 1/MPQAO/1.2     | 1,18                     | 2,22                            | 5,39    | 0,074                   |
| 2/MPQAO/1.2**** | -----                    | -----                           | -----   | -----                   |
| 3/MPQAO/1.2**** | -----                    | -----                           | -----   | -----                   |
| 1/MTQ           | 3,33                     | 8,30                            | 16,60   | 0,286                   |
| 2/MTQ           | 3,33                     | 9,79                            | 19,57   | 0,258                   |
| 3/MTQ           | 1,18                     | 8,30                            | 16,60   | 0,103                   |
| 1/MTQG/0.6      | 1,37                     | 9,34                            | 19,22   | 0,097                   |
| 2/MTQG/0.6      | 1,08                     | 8,90                            | 17,18   | 0,073                   |
| 3/MTQG/0.6      | 1,27                     | 12,57                           | 31,46   | 0,080                   |
| 1/MTQG/1.2      | 2,45                     | 13,27                           | 47,45   | 0,142                   |

Tabla N° 6 Continuación...

| Código película | C máx. de tracción (N)** | Distancia de alargamiento(mm)** | A%**  | ETC(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------|-------|-------------------------|
| 2/MTQG/1.2      | 1,77                     | 14,52                           | 38,38 | 0,102                   |
| 3/MTQG/1.2      | 1,77                     | 18,00                           | 47,75 | 0,095                   |
| 1/MTQAO/0.6     | 1,37                     | 5,73                            | 12,42 | 0,074                   |
| 2/MTQAA/0.6     | 2,94                     | 4,74                            | 10,02 | 0,149                   |
| 3/MTQAO/0.6     | 3,82                     | 12,94                           | 10,99 | 0,184                   |
| 1/MTQAO/1.2     | 1,27                     | 2,30                            | 5,06  | 0,064                   |
| 2/MTQAO/1.2     | 2,94                     | 1,78                            | 5,05  | 0,150                   |
| 3/MTQAO/1.2     | 2,35                     | 2,70                            | 5,99  | 0,120                   |

\*\* Valores dados por software rubber testing program de control del equipo tipo HT-9102, marca HUNG-TA

\*\*\* Estos datos se eliminaron el equipo no dio la lectura de distancia de alargamiento durante el desarrollo del análisis por tanto se consideran confiables los valores A% ya que para el cálculo de éste el equipo necesita conocer la distancia de alargamiento del film durante el análisis.

\*\*\*\* Estos films sufrieron daño durante la colocación en el equipo, por lo tanto valores obtenidos de ellos no son confiables

\*\*\*\*\* Los cálculos se realizaron en una plantilla de Microsoft Excel por lo que se utilizaron todos los decimales.

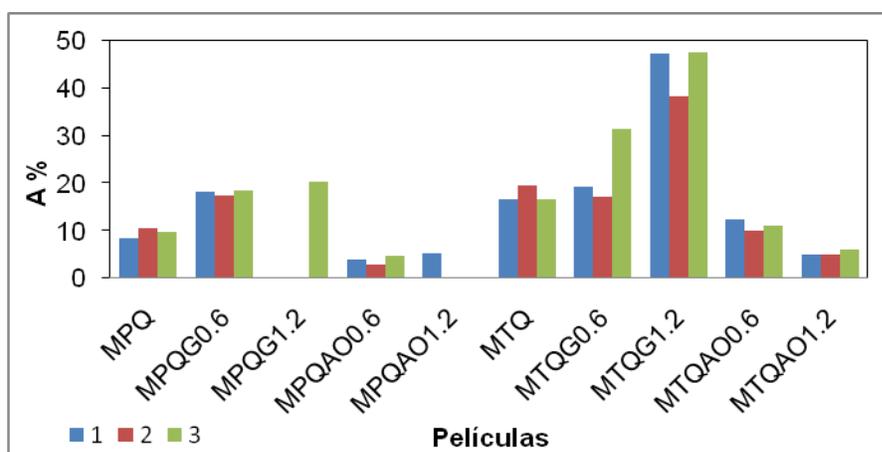


Figura N° 11 Gráfico alargamiento porcentual (A%)

Nota: los número de serie 1, 2 y 3 corresponden a un sub número dentro de cada categoría de tipo de película como por ejemplo la barra color azul corresponde a la película N° 1 dentro de la categoría MPQ.

En la figura N° 11 se representa el alargamiento porcentual cuyos valores son similares entre el mismo tipo de película menos en el grupo MTQG0.6 donde la

película N° 3 presenta un valor mayor a las demás de su misma categoría con una diferencia de 13.26% mas al promedio de sus congéneres y el grupo MTQG1.2 donde la película N° 2 presenta un valor ligeramente menor al de las otras del subgrupo, no obstante varían entre diferentes tipos de película presentando mayores valores aquellas que en su composición tienen glicerina al 1.2% en base teflón 47.45%, 38.38% y 47.75% respectivamente.

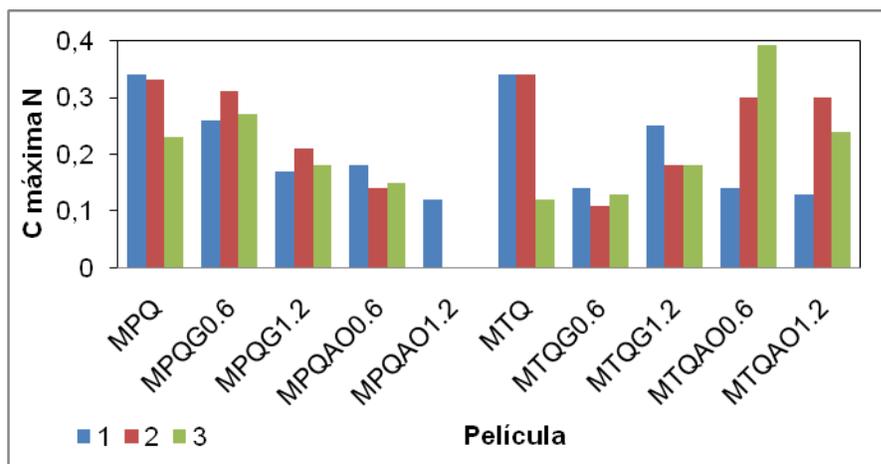


Figura N° 12 Gráfico carga máxima que tolera la película

Nota: los número de serie 1, 2 y 3 corresponden a un sub número dentro de cada categoría de tipo de película como por ejemplo la barra color azul corresponde a la película N° 1 dentro de la categoría MPQ.

En la figura N° 12 se puede observar como la carga máxima es similar entre tipos iguales de películas a excepción de la película N° 3 grupo MPQ que muestra un valor ligeramente menor, N° 3 grupo MTQ y N° 1 grupos MTQAO0.6 y MTQAO1.2 que presentaron un valor menor que el de las otras dos de su misma categoría y la N° 1 grupo MTQG1.2 que presentó un valor mayor que

sus replicas, no así entre diferentes composiciones donde se observan diferencias y las de mayor valor las presentaron aquellas películas sin plastificante a excepción del film N° 3 grupo MTQAO0.6% el cual presentó el mayor valor de todos 3.82 N.

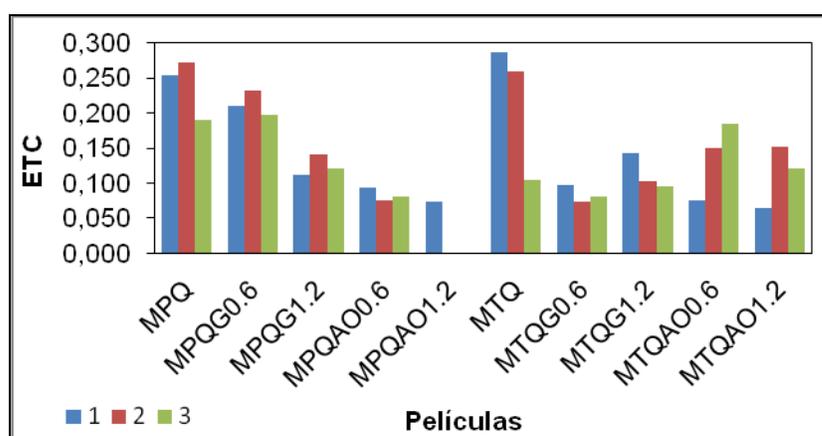


Figura N° 13 Gráfico de esfuerzo de tracción en el corte para cada film

Nota: los número de serie 1, 2 y 3 corresponden a un sub número dentro de cada categoría de tipo de película como por ejemplo la barra color azul corresponde a la película N° 1 dentro de la categoría MPQ.

En la figura N° 13 se puede observar: el esfuerzo de tracción en el corte un comportamiento similar a excepción del filme N° 3 grupo MPQ que muestra un valor ligeramente menor, N° 3 grupo MTQ y N° 1 grupos MTQAO0.6 y MTQAO1.2 que presentan valores mucho menores que los de su misma categoría, si se observa entre los distintos tipos de películas las de quitosano sin plastificante N° 1 y N° 2 en ambos tipos de placa presentan los valores más altos de ETC, 0.286 - 0.253 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.2.4. Solubilidad

En la tabla N° 6 se presentan los resultados de las pruebas de solubilidad para cada tipo de película que se analizó posteriormente en permeabilidad, con el fin de conocer cómo el plastificante afecta las características de solubilidad del quitosano. Se peso 0.01 gramos por muestra y se adicionó el disolvente poco a poco hasta disolución o hasta completar cantidad máxima de disolvente estipulada.

Tabla N° 7 Resultados del ensayo de solubilidad de las películas de quitosano

| código película  | DISOLVENTES          |                   |           |           |           |           |
|------------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                  | Agua desmineralizada | Ac. Acético al 1% | HCl 1 N   | HCl 10%   | NaOH 25%  | NaOH 10%  |
| <b>MPQ</b>       | PS*                  | 1:750             | Insoluble | PS *      | Insoluble | Insoluble |
| <b>MPQG/0.6</b>  | Insoluble            | PS *              | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MPQG/1.2</b>  | Insoluble            | PS*               | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MPQAO/0.6</b> | Insoluble            | PS*               | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MPQAO/1.2</b> | Insoluble            | PS*               | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MTQ</b>       | PS*                  | 1:800             | Insoluble | PS *      | Insoluble | Insoluble |
| <b>MTQG/0.6</b>  | Insoluble            | PS*               | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MTQG/1.2</b>  | Insoluble            | PS*               | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MTQAO/0.6</b> | Insoluble            | PS *              | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |
| <b>MTQAO/1.2</b> | Insoluble            | PS*               | Insoluble | Insoluble | Insoluble | Insoluble |

\* No se considera insoluble, ya que una parte del soluto fue disuelta en la cantidad máxima de disolvente estipulada.

En la tabla N° 7 se puede observar que las películas son insolubles a pH mayores que 7 (soluciones básicas), en HCl es insoluble tanto a altas como bajas concentraciones excepto aquellos films que no contienen plastificante donde la solubilidad se observa que es relativamente baja, en agua

desmineralizada la solubilidad esta limitada para películas sin plastificante, el resto son insolubles, mientras que en ácido acético el cual es el solvente comúnmente utilizado para disolverlo la solubilidad es baja para todas las películas en comparación a las que no tienen plastificante.

#### **5.2.5. Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua**

El ensayo de permeabilidad se realizó bajo la norma ASTM E-96/ E-96M-05, bajo el método de desecante, este es un método gravimétrico, es decir, se registran los pesos de cada tubo en análisis periódicamente hasta alcanzar el peso limite que es el 10% del peso inicial del desecante, es decir 0.41 g sobre el peso inicial del tubo completo ya que el peso del desecante por tubo fue de 4.1 gramos, de los cuales posteriormente se calculan los aumentos y que luego fueron graficados en relación al tiempo, utilizando regresión lineal se calculó la pendiente que se utilizó en la fórmula de índice de transferencia al vapor de agua, valor que sirve para definir el valor de Permeanza, misma que al multiplicarse por el espesor proporciona la permeabilidad al vapor de agua. Para determinar correctamente los datos se trataron y sustituyeron en la siguiente secuencia de ecuaciones: N° 4(ver página N° 73), N° 5, N° 6, N° 7(ver página N° 74) y N° 8 (ver página N° 75):

Ejemplo de cálculo (ver anexo N° 17)

Tabla N° 8 Resultados del ensayo de permeabilidad, mediciones de peso de tubos de prueba.

| Horas              | 0         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 1         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,514     | 7,516 | 7,517 | 7,518 | 7,521 | 7,521 |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,386     | 7,388 | 7,389 | 7,391 | 7,393 | 7,394 |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,274     | 7,276 | 7,278 | 7,279 | 7,281 | 7,283 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 7,325     | 7,331 | 7,334 | 7,346 | 7,349 | 7,350 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 7,376     | 7,383 | 7,386 | 7,396 | 7,398 | 7,400 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 7,414     | 7,421 | 7,426 | 7,436 | 7,439 | 7,440 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 7,357     | 7,363 | 7,369 | 7,383 | 7,386 | 7,386 |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 7,399     | 7,406 | 7,412 | 7,425 | 7,428 | 7,431 |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 7,337     | 7,345 | 7,351 | 7,363 | 7,365 | 7,368 |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,266     | 7,267 | 7,269 | 7,270 | 7,272 | 7,272 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,534     | 7,535 | 7,537 | 7,538 | 7,540 | 7,540 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,541     | 7,542 | 7,544 | 7,545 | 7,547 | 7,547 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,521     | 6,522 | 6,522 | 6,524 | 6,525 | 6,525 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,556     | 7,557 | 7,557 | 7,559 | 7,560 | 7,561 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,486     | 7,487 | 7,487 | 7,489 | 7,491 | 7,491 |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,106     | 7,108 | 7,108 | 7,113 | 7,113 | 7,113 |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,478     | 7,481 | 7,481 | 7,485 | 7,485 | 7,486 |
| <b>3/MTQ</b>       | 7,632     | 7,634 | 7,636 | 7,640 | 7,640 | 7,640 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 7,470     | 7,474 | 7,478 | 7,488 | 7,488 | 7,492 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 7,721     | 7,727 | 7,732 | 7,746 | 7,746 | 7,751 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 7,638     | 7,642 | 7,646 | 7,657 | 7,670 | 7,662 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 7,576     | 7,583 | 7,588 | 7,600 | 7,600 | 7,605 |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 7,576     | 7,582 | 7,587 | 7,598 | 7,598 | 7,603 |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 7,910     | 7,916 | 7,921 | 7,930 | 7,930 | 7,935 |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,233     | 7,236 | 7,236 | 7,240 | 7,240 | 7,240 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,297     | 7,299 | 7,300 | 7,304 | 7,304 | 7,304 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 6,816     | 6,817 | 6,819 | 6,823 | 6,823 | 6,824 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,492     | 7,493 | 7,494 | 7,496 | 7,499 | 7,500 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,326     | 7,327 | 7,328 | 7,330 | 7,332 | 7,334 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 6,897     | 6,898 | 6,899 | 6,901 | 6,904 | 6,905 |
| <b>Control</b>     | 6,334     | 6,335 | 6,335 | 6,335 | 6,336 | 6,336 |

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 6         | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 7         | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,522     | 7,549 | 7,545 | 7,546 | 7,548 | 7,549 |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,395     | 7,422 | 7,418 | 7,419 | 7,420 | 7,422 |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,284     | 7,312 | 7,307 | 7,308 | 7,309 | 7,311 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 7,351     | 7,404 | 7,408 | 7,414 | 7,416 | 7,419 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 7,402     | 7,461 | 7,465 | 7,470 | 7,471 | 7,476 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 7,444     | 7,511 | 7,516 | 7,519 | 7,524 | 7,530 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 7,393     | 7,486 | 7,494 | 7,498 | 7,505 | 7,512 |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 7,439     | 7,532 | 7,540 | 7,543 | 7,552 | 7,557 |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 7,376     | 7,472 | 7,479 | 7,483 | 7,489 | 7,497 |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,274     | 7,299 | 7,292 | 7,293 | 7,294 | 7,296 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,542     | 7,567 | 7,560 | 7,561 | 7,562 | 7,564 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,549     | 7,574 | 7,567 | 7,568 | 7,569 | 7,571 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,526     | 6,544 | 6,539 | 6,540 | 6,541 | 6,543 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,563     | 7,577 | 7,571 | 7,572 | 7,573 | 7,575 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,493     | 7,508 | 7,502 | 7,503 | 7,504 | 7,506 |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,115     | 7,143 | 7,139 | 7,140 | 7,142 | 7,145 |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,488     | 7,518 | 7,513 | 7,514 | 7,516 | 7,518 |
| <b>3/MTQ</b>       | 7,643     | 7,674 | 7,670 | 7,671 | 7,673 | 7,674 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 7,497     | 7,554 | 7,551 | 7,556 | 7,560 | 7,563 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 7,757     | 7,817 | 7,818 | 7,825 | 7,824 | 7,870 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 7,666     | 7,733 | 7,736 | 7,738 | 7,743 | 7,747 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 7,615     | 7,716 | 7,734 | 7,718 | 7,725 | 7,732 |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 7,612     | 7,723 | 7,709 | 7,713 | 7,720 | 7,726 |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 7,948     | 8,027 | 8,031 | 8,035 | 8,041 | 8,046 |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,248     | 7,274 | 7,268 | 7,269 | 7,271 | 7,274 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,312     | 7,338 | 7,333 | 7,334 | 7,337 | 7,339 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 6,832     | 6,857 | 6,853 | 6,854 | 6,858 | 6,859 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,504     | 7,527 | 7,525 | 7,526 | 7,528 | 7,530 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,336     | 7,360 | 7,361 | 7,362 | 7,363 | 7,365 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 6,908     | 6,932 | 6,931 | 6,932 | 6,934 | 6,936 |
| Control            | 6,336     | 6,340 | 6,340 | 6,340 | 6,341 | 6,341 |

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 28        | 29    | 46    | 47    | 48    | 49    |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 13        | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,550     | 7,551 | 7,563 | 7,565 | 7,566 | 7,567 |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,423     | 7,424 | 7,438 | 7,440 | 7,441 | 7,442 |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,312     | 7,313 | 7,329 | 7,330 | 7,332 | 7,333 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 7,421     | 7,422 | 7,459 | 7,463 | 7,465 | 7,468 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 7,478     | 7,480 | 7,520 | 7,523 | 7,526 | 7,529 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 7,531     | 7,535 | 7,581 | 7,585 | 7,586 | 7,591 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 7,514     | 7,518 | 7,584 | 7,590 | 7,594 | 7,598 |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 7,560     | 7,563 | 7,625 | 7,630 | 7,634 | 7,638 |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 7,499     | 7,503 | 7,567 | 7,573 | 7,576 | 7,580 |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,296     | 7,298 | 7,309 | 7,310 | 7,311 | 7,312 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,564     | 7,566 | 7,577 | 7,578 | 7,579 | 7,580 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,571     | 7,573 | 7,584 | 7,585 | 7,586 | 7,587 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,544     | 6,545 | 6,555 | 6,556 | 6,557 | 6,584 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,575     | 7,577 | 7,587 | 7,588 | 7,589 | 7,616 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,507     | 7,508 | 7,518 | 7,519 | 7,520 | 7,547 |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,148     | 7,149 | 7,166 | 7,170 | 7,173 | 7,174 |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,519     | 7,522 | 7,539 | 7,542 | 7,543 | 7,545 |
| <b>3/MTQ</b>       | 7,676     | 7,679 | 7,699 | 7,702 | 7,703 | 7,704 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 7,564     | 7,568 | 7,610 | 7,615 | 7,617 | 7,620 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 7,828     | 7,832 | 7,877 | 7,882 | 7,883 | 7,886 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 7,747     | 7,752 | 7,801 | 7,802 | 7,811 | 7,815 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 7,734     | 7,739 | 7,812 | 7,817 | 7,824 | 7,826 |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 7,727     | 7,733 | 7,800 | 7,805 | 7,809 | 7,813 |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 8,049     | 8,054 | 8,119 | 8,123 | 8,128 | 8,132 |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,270     | 7,273 | 7,292 | 7,294 | 7,295 | 7,296 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,336     | 7,339 | 7,358 | 7,360 | 7,361 | 7,362 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 6,858     | 6,861 | 6,879 | 6,881 | 6,882 | 6,884 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,531     | 7,532 | 7,543 | 7,545 | 7,547 | 7,549 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,366     | 7,367 | 7,379 | 7,382 | 7,384 | 7,383 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 6,937     | 6,939 | 6,949 | 6,952 | 6,954 | 6,954 |
| Control            | 6,341     | 6,342 | 6,345 | 6,345 | 6,345 | 6,345 |

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 50        | 51    | 117    | 118    | 119   | 120   |
|--------------------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |        |        |       |       |
|                    | 19        | 20    | 21     | 22     | 23    | 24    |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,569     | 7,570 | 7,647  | 7,638  | 7,639 | 7,640 |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,444     | 7,445 | 7,524  | 7,511  | 7,516 | 7,517 |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,334     | 7,335 | 7,418  | 7,400  | 7,410 | 7,411 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 7,440     | 7,475 | 7,649  | 7,642  | 7,645 | 7,677 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 7,531     | 7,534 | 7,715  | 7,710  | 7,712 | 7,714 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 7,594     | 7,597 | 7,818  | 7,812  | 7,816 | 7,818 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 7,601     | 7,607 | 7,866* | -----  | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 7,641     | 7,645 | 7,906* | -----  | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 7,584     | 7,588 | 7,854* | -----  | ----- | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,313     | 7,315 | 7,377  | 7,368  | 7,369 | 7,370 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,581     | 7,583 | 7,645  | 7,636  | 7,637 | 7,638 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,588     | 7,590 | 7,652  | 7,643  | 7,644 | 7,645 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,560     | 6,561 | 6,665  | 6,657  | 6,658 | 6,660 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,592     | 7,593 | 7,697  | 7,689  | 7,690 | 7,692 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,523     | 7,524 | 7,628  | 7,620  | 7,621 | 7,623 |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,175     | 7,177 | 7,274  | 7,265  | 7,266 | 7,267 |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,545     | 7,547 | 7,635  | 7,630  | 7,631 | 7,632 |
| <b>3/MTQ</b>       | 7,706     | 7,707 | 7,809  | 7,800  | 7,801 | 7,803 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 7,624     | 7,627 | 7,799  | 7,793  | 7,794 | 7,799 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 7,889     | 7,893 | 8,094  | 8,086  | 8,090 | 8,093 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 7,817     | 7,821 | 8,023  | 8,016  | 8,019 | 8,021 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 7,831     | 7,835 | 8,123  | 8,117* | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 7,818     | 7,822 | 8,095  | 8,088  | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 8,136     | 8,140 | 8,402  | 8,395  | ----- | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,297     | 7,299 | 7,356  | 7,347  | 7,348 | 7,349 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,364     | 7,366 | 7,419  | 7,410  | 7,411 | 7,412 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 6,886     | 6,888 | 6,938  | 6,929  | 6,930 | 6,931 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,551     | 7,554 | 7,631  | 7,622  | 7,623 | 7,624 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,385     | 7,388 | 7,465  | 7,456  | 7,457 | 7,458 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 6,956     | 6,959 | 7,036  | 7,027  | 7,028 | 7,029 |
| Control            | 6,345     | 6,346 | 6,354  | 6,355  | 6,355 | 6,355 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 141       | 142   | 145   | 146   | 164    | 166   |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |        |       |
|                    | 25        | 26    | 27    | 28    | 29     | 30    |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,661     | 7,662 | 7,665 | 7,665 | 7,682  | 7,683 |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,539     | 7,541 | 7,543 | 7,545 | 7,562  | 7,563 |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,433     | 7,435 | 7,438 | 7,440 | 7,458  | 7,459 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 7,700     | 7,703 | 7,710 | 7,711 | 7,755* | ----- |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 7,771     | 7,775 | 7,782 | 7,784 | 7,819* | ----- |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 7,886     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,386     | 7,389 | 7,391 | 7,392 | 7,403  | 7,404 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,654     | 7,657 | 7,659 | 7,660 | 7,671  | 7,672 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,661     | 7,664 | 7,666 | 7,667 | 7,678  | 7,679 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,690     | 6,691 | 6,693 | 6,696 | 6,722  | 6,724 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,722     | 7,723 | 7,725 | 7,728 | 7,753  | 7,755 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,653     | 7,654 | 7,656 | 7,660 | 7,685  | 7,687 |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,291     | 7,294 | 7,297 | 7,298 | 7,317  | 7,319 |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,659     | 7,695 | 7,698 | 7,665 | 7,686  | 7,688 |
| <b>3/MTQ</b>       | 7,832     | 7,861 | 7,864 | 7,838 | 7,859  | 7,861 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 7,849     | 7,833 | 7,857 | 7,860 | 7,908  | ----- |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 8,152*    | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 8,078*    | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,343     | 7,347 | 7,359 | 7,366 | 7,378  | 7,380 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,421     | 7,425 | 7,432 | 7,436 | 7,443  | 7,449 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 6,955     | 6,959 | 6,961 | 6,962 | 6,964  | 6,974 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,634     | 7,636 | 7,638 | 7,638 | 7,656  | 7,656 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,470     | 7,469 | 7,481 | 7,482 | 7,498  | 7,500 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 7,040     | 7,041 | 7,048 | 7,048 | 7,065  | 7,066 |
| Control            | 6,358     | 6,358 | 6,358 | 6,358 | 6,361  | 6,361 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 169       | 187   | 189   | 191   | 193   | 260   |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 31        | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,686     | 7,705 | 7,706 | 7,708 | 7,710 | 7,841 |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,567     | 7,585 | 7,587 | 7,589 | 7,591 | 7,716 |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,463     | 7,482 | 7,484 | 7,486 | 7,488 | 7,607 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,407     | 7,421 | 7,422 | 7,424 | 7,426 | 7,497 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,675     | 7,689 | 7,690 | 7,692 | 7,694 | 7,765 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,682     | 7,696 | 7,697 | 7,699 | 7,701 | 7,772 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,729     | 6,743 | 6,744 | 6,750 | 6,757 | 6,760 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,761     | 7,775 | 7,776 | 7,782 | 7,789 | 7,792 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,692     | 7,706 | 7,707 | 7,713 | 7,720 | 7,723 |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,322     | 7,342 | 7,342 | 7,345 | 7,348 | 7,446 |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,692     | 7,713 | 7,715 | 7,717 | 7,721 | 7,834 |
| <b>3/MTQ</b>       | 7,866     | 7,889 | 7,891 | 7,894 | 7,898 | 8,007 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,382     | 7,404 | 7,406 | 7,407 | 7,409 | 7,462 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,462     | 7,467 | 7,469 | 7,495 | 7,498 | 7,532 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 6,998     | 6,986 | 6,987 | 7,039 | 7,042 | 7,057 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,659     | 7,664 | 7,665 | 7,667 | 7,669 | 7,712 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,504     | 7,520 | 7,521 | 7,524 | 7,526 | 7,610 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 7,070     | 7,080 | 7,081 | 7,084 | 7,086 | 7,149 |
| Control            | 6,362     | 6,364 | 6,364 | 6,365 | 6,365 | 6,373 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 263       | 265   | 303   | 305    | 322   | 323    |
|--------------------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |        |       |        |
|                    | 37        | 38    | 39    | 40     | 41    | 42     |
| <b>1/MPQ</b>       | 7,847     | 7,852 | 7,889 | 7,896  | 7,905 | 7,954* |
| <b>2/MPQ</b>       | 7,721     | 7,726 | 7,772 | 7,761  | 7,770 | 7,812* |
| <b>3/MPQ</b>       | 7,612     | 7,615 | 7,671 | 7,643  | 7,651 | 7,687* |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,499     | 7,502 | 7,516 | 7,517  | 7,520 | 7,535  |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,767     | 7,770 | 7,784 | 7,785  | 7,788 | 7,803  |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,774     | 7,777 | 7,791 | 7,792  | 7,795 | 7,810  |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,761     | 6,765 | 6,771 | 6,800  | 6,804 | 6,847  |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,793     | 7,797 | 7,803 | 7,832  | 7,836 | 7,879  |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,724     | 7,728 | 7,734 | 7,763  | 7,767 | 7,810  |
| <b>1/MTQ</b>       | 7,451     | 7,457 | 7,476 | 7,477  | 7,482 | 7,502  |
| <b>2/MTQ</b>       | 7,838     | 7,843 | 7,865 | 7,868  | 7,873 | 7,897  |
| <b>3/MTQ</b>       | 8,013     | 8,018 | 8,039 | 8,043* | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,444     | 7,446 | 7,459 | 7,460  | 7,465 | 7,478  |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,563     | 7,566 | 7,581 | 7,582  | 7,589 | 7,606  |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 7,063     | 7,066 | 7,080 | 7,081  | 7,087 | 7,102  |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,746     | 7,748 | 7,762 | 7,763  | 7,768 | 7,782  |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 7,613     | 7,615 | 7,633 | 7,634  | 7,641 | 7,655  |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 7,168     | 7,170 | 7,186 | 7,187  | 7,193 | 7,207  |
| Control            | 6,374     | 6,374 | 6,377 | 6,377  | 6,378 | 6,381  |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas           | 325       | 327   | 328   | 341   | 343   | 346   |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                 | 43        | 44    | 45    | 46    | 47    | 48    |
| 1/MPQ           | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 2/MPQ           | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/MPQ           | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 2/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 2/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/MPQAO/0.6     | 7,537     | 7,538 | 7,549 | 7,554 | 7,568 | 7,570 |
| 2/MPQAO/0.6     | 7,805     | 7,806 | 7,817 | 7,822 | 7,836 | 7,838 |
| 3/MPQAO/0.6     | 7,812     | 7,813 | 7,824 | 7,829 | 7,843 | 7,845 |
| 1/MPQAO/1.2     | 6,849     | 6,850 | 6,871 | 6,882 | 6,893 | 6,894 |
| 2/MPQAO/1.2     | 7,881     | 7,882 | 7,903 | 7,914 | 7,925 | 7,926 |
| 3/MPQAO/1.2     | 7,812     | 7,813 | 7,834 | 7,846 | 7,856 | 7,858 |
| 1/MTQ           | 7,504     | 7,505 | 7,520 | ----- | ----- | ----- |
| 2/MTQ           | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/MTQ           | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 2/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 2/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/MTQAO/0.6     | 7,478     | 7,479 | 7,489 | 7,496 | 7,512 | 7,521 |
| 2/MTQAO/0.6     | 7,607     | 7,608 | 7,619 | 7,625 | 7,644 | 7,649 |
| 3/MTQAO/0.6     | 7,102     | 7,103 | 7,114 | 7,121 | 7,138 | 7,145 |
| 1/MTQAO/1.2     | 7,784     | 7,785 | 7,795 | 7,801 | 7,813 | 7,815 |
| 2/MTQAO/1.2     | 7,657     | 7,659 | 7,672 | 7,678 | 7,691 | 7,693 |
| 3/MTQAO/1.2     | 7,209     | 7,210 | 7,222 | 7,228 | 7,240 | 7,242 |
| Control         | 6,381     | 6,381 | 6,383 | 6,384 | 6,387 | 6,388 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas           | 416       | 438   | 439   | 449    | 463   | 465   |
|-----------------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Código película | Pesos (g) |       |       |        |       |       |
|                 | 49        | 50    | 51    | 52     | 53    | 54    |
| 1/MPQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MPQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MPQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MPQAO/0.6     | 7,572     | 7,618 | 7,619 | 7,610  | 7,612 | 7,642 |
| 2/MPQAO/0.6     | 7,840     | 7,886 | 7,887 | 7,878  | 7,880 | 7,910 |
| 3/MPQAO/0.6     | 7,847     | 7,893 | 7,894 | 7,885  | 7,887 | 7,917 |
| 1/MPQAO/1.2     | 6,898     | 6,899 | 6,903 | 6,910  | 6,913 | 6,924 |
| 2/MPQAO/1.2     | 7,930     | 7,931 | 7,935 | 7,942  | 7,945 | 7,956 |
| 3/MPQAO/1.2     | 7,862     | 7,863 | 7,867 | 7,874  | 7,877 | 7,887 |
| 1/MTQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MTQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MTQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MTQAO/0.6     | 7,524     | 7,564 | 7,567 | 7,592  | 7,596 | 7,607 |
| 2/MTQAO/0.6     | 7,653     | 7,701 | 7,704 | 7,633  | 7,638 | 7,650 |
| 3/MTQAO/0.6     | 7,148     | 7,193 | 7,196 | 7,172  | 7,177 | 7,189 |
| 1/MTQAO/1.2     | 7,819     | 7,863 | 7,866 | 7,890  | 7,893 | 7,901 |
| 2/MTQAO/1.2     | 7,655     | 7,705 | 7,708 | 7,771* | ----- | ----- |
| 3/MTQAO/1.2     | 7,225     | 7,272 | 7,275 | 7,319* | ----- | ----- |
| Control         | 6,388     | 6,397 | 6,398 | 6,401  | 6,404 | 6,407 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 8 Continuación...

| Horas              | 483       | 484    | 486   | 553   | 579    |
|--------------------|-----------|--------|-------|-------|--------|
| Código película    | Pesos (g) |        |       |       |        |
|                    | 55        | 56     | 57    | 58    | 59     |
| <b>1/MPQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 7,649     | 7,655  | 7,656 | 7,657 | 7,676* |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 7,917     | 7,923  | 7,924 | 7,925 | 7,944* |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 7,924     | 7,930  | 7,931 | 7,932 | 7,951* |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 6,925     | 6,951* | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 7,957     | 7,983* | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 7,888     | 7,914* | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 7,609     | 7,618  | 7,621 | 7,623 | 7,671* |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 7,652     | 7,662  | 7,664 | 7,666 | 7,738* |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 7,191     | 7,200  | 7,203 | 7,204 | 7,265* |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 7,905*    | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| Control            | 6,407     | 6,409  | 6,411 | 6,411 | 6,411  |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

En la tabla N° 8 podemos observar como los tubos de prueba van aumentando en peso a medida transcurre el tiempo y de cómo ellos alcanzan el límite de peso previamente calculado a diferentes niveles de la línea de tiempo del ensayo.

Por ejemplo el tubo No 1 presenta un peso de 7.516 g después de una hora y 26 horas des pues el peso es de 7.549 g dato que es mayor en 0.033 g.

Tabla N° 9 Aumentos experimentados por los tubos de prueba durante el ensayo de permeabilidad corregidos con el control.

| Horas              | 0         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 1         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,000     | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 0,007 |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,000     | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,000     | 0,002 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,009 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,000     | 0,005 | 0,009 | 0,021 | 0,023 | 0,025 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,000     | 0,006 | 0,010 | 0,020 | 0,021 | 0,024 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,000     | 0,006 | 0,012 | 0,022 | 0,024 | 0,026 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 0,000     | 0,005 | 0,012 | 0,026 | 0,028 | 0,029 |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 0,000     | 0,006 | 0,013 | 0,026 | 0,028 | 0,032 |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 0,000     | 0,007 | 0,014 | 0,026 | 0,027 | 0,031 |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,000     | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,000     | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,000     | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,000     | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,004 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,000     | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,000     | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,005 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,000     | 0,001 | 0,002 | 0,007 | 0,006 | 0,007 |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,000     | 0,002 | 0,003 | 0,007 | 0,006 | 0,008 |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,000     | 0,002 | 0,004 | 0,008 | 0,007 | 0,008 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,000     | 0,003 | 0,008 | 0,018 | 0,017 | 0,022 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,000     | 0,005 | 0,011 | 0,025 | 0,024 | 0,030 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,000     | 0,003 | 0,008 | 0,019 | 0,031 | 0,024 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 0,000     | 0,006 | 0,012 | 0,024 | 0,023 | 0,029 |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 0,000     | 0,005 | 0,011 | 0,022 | 0,021 | 0,027 |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 0,000     | 0,005 | 0,011 | 0,020 | 0,019 | 0,025 |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,000     | 0,002 | 0,003 | 0,007 | 0,006 | 0,007 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,000     | 0,001 | 0,003 | 0,006 | 0,006 | 0,007 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,000     | 0,000 | 0,003 | 0,007 | 0,006 | 0,008 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,000     | 0,000 | 0,002 | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,000     | 0,000 | 0,002 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,000     | 0,000 | 0,002 | 0,004 | 0,006 | 0,008 |

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 6         | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 7         | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,008     | 0,031 | 0,030 | 0,032 | 0,033 | 0,034 |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,009     | 0,032 | 0,031 | 0,033 | 0,034 | 0,035 |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,010     | 0,034 | 0,033 | 0,034 | 0,035 | 0,037 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,026     | 0,075 | 0,083 | 0,089 | 0,091 | 0,093 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,026     | 0,081 | 0,088 | 0,094 | 0,095 | 0,099 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,030     | 0,093 | 0,102 | 0,105 | 0,110 | 0,116 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 0,036     | 0,125 | 0,137 | 0,141 | 0,148 | 0,155 |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 0,040     | 0,129 | 0,141 | 0,144 | 0,153 | 0,158 |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 0,039     | 0,131 | 0,142 | 0,146 | 0,152 | 0,160 |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,007     | 0,029 | 0,026 | 0,027 | 0,028 | 0,029 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,007     | 0,029 | 0,026 | 0,027 | 0,028 | 0,029 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,007     | 0,029 | 0,026 | 0,027 | 0,028 | 0,029 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,005     | 0,019 | 0,017 | 0,019 | 0,020 | 0,022 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,006     | 0,017 | 0,015 | 0,016 | 0,017 | 0,018 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,006     | 0,018 | 0,016 | 0,017 | 0,018 | 0,020 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,009     | 0,033 | 0,033 | 0,034 | 0,036 | 0,039 |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,010     | 0,036 | 0,035 | 0,036 | 0,038 | 0,040 |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,011     | 0,038 | 0,038 | 0,039 | 0,041 | 0,042 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,027     | 0,080 | 0,081 | 0,086 | 0,090 | 0,093 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,036     | 0,092 | 0,096 | 0,104 | 0,103 | 0,149 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,028     | 0,091 | 0,098 | 0,100 | 0,105 | 0,109 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 0,039     | 0,136 | 0,158 | 0,142 | 0,149 | 0,156 |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 0,036     | 0,143 | 0,133 | 0,137 | 0,144 | 0,150 |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 0,038     | 0,113 | 0,121 | 0,125 | 0,131 | 0,136 |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,015     | 0,037 | 0,035 | 0,036 | 0,038 | 0,041 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,015     | 0,037 | 0,035 | 0,037 | 0,039 | 0,041 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,016     | 0,037 | 0,037 | 0,038 | 0,042 | 0,043 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,012     | 0,031 | 0,033 | 0,034 | 0,036 | 0,038 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,010     | 0,030 | 0,035 | 0,036 | 0,037 | 0,039 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,011     | 0,031 | 0,033 | 0,035 | 0,036 | 0,038 |

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 28        | 29    | 46    | 47    | 48    | 49    |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 13        | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,035     | 0,036 | 0,046 | 0,051 | 0,052 | 0,053 |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,036     | 0,037 | 0,049 | 0,054 | 0,055 | 0,056 |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,037     | 0,038 | 0,052 | 0,056 | 0,058 | 0,059 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,096     | 0,097 | 0,131 | 0,138 | 0,140 | 0,143 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,102     | 0,104 | 0,141 | 0,147 | 0,150 | 0,153 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,117     | 0,121 | 0,164 | 0,171 | 0,172 | 0,177 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 0,157     | 0,161 | 0,224 | 0,233 | 0,237 | 0,241 |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 0,161     | 0,164 | 0,223 | 0,231 | 0,235 | 0,239 |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 0,162     | 0,166 | 0,227 | 0,236 | 0,239 | 0,243 |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,030     | 0,031 | 0,039 | 0,044 | 0,045 | 0,046 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,030     | 0,031 | 0,039 | 0,044 | 0,045 | 0,046 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,030     | 0,031 | 0,039 | 0,044 | 0,045 | 0,046 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,022     | 0,023 | 0,030 | 0,035 | 0,036 | 0,063 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,019     | 0,020 | 0,027 | 0,032 | 0,033 | 0,060 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,020     | 0,021 | 0,029 | 0,033 | 0,034 | 0,061 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,042     | 0,043 | 0,057 | 0,064 | 0,067 | 0,068 |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,041     | 0,044 | 0,058 | 0,064 | 0,065 | 0,067 |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,044     | 0,047 | 0,064 | 0,070 | 0,071 | 0,072 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,094     | 0,098 | 0,137 | 0,145 | 0,147 | 0,150 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,107     | 0,111 | 0,153 | 0,161 | 0,162 | 0,165 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,109     | 0,114 | 0,160 | 0,164 | 0,173 | 0,177 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 0,158     | 0,163 | 0,233 | 0,241 | 0,248 | 0,250 |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 0,151     | 0,157 | 0,221 | 0,229 | 0,233 | 0,237 |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 0,139     | 0,144 | 0,206 | 0,213 | 0,218 | 0,222 |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,037     | 0,040 | 0,056 | 0,061 | 0,062 | 0,063 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,039     | 0,042 | 0,057 | 0,063 | 0,064 | 0,065 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,042     | 0,045 | 0,060 | 0,065 | 0,066 | 0,068 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,039     | 0,040 | 0,048 | 0,053 | 0,055 | 0,057 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,040     | 0,041 | 0,050 | 0,056 | 0,058 | 0,057 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,039     | 0,041 | 0,049 | 0,054 | 0,056 | 0,057 |

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 50        | 51    | 117    | 118   | 119   | 120   |
|--------------------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |        |       |       |       |
|                    | 19        | 20    | 21     | 22    | 23    | 24    |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,055     | 0,056 | 0,124  | 0,123 | 0,124 | 0,126 |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,057     | 0,058 | 0,130  | 0,124 | 0,130 | 0,131 |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,060     | 0,060 | 0,135  | 0,125 | 0,136 | 0,137 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,115     | 0,149 | 0,316  | 0,317 | 0,320 | 0,352 |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,155     | 0,157 | 0,331  | 0,334 | 0,336 | 0,338 |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,180     | 0,183 | 0,396  | 0,398 | 0,402 | 0,404 |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | 0,244     | 0,249 | 0,501* | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | 0,242     | 0,245 | 0,499* | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | 0,247     | 0,251 | 0,509* | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,047     | 0,048 | 0,103  | 0,102 | 0,103 | 0,104 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,047     | 0,048 | 0,103  | 0,102 | 0,103 | 0,104 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,047     | 0,048 | 0,103  | 0,102 | 0,103 | 0,104 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,038     | 0,040 | 0,136  | 0,135 | 0,137 | 0,139 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,035     | 0,037 | 0,133  | 0,132 | 0,134 | 0,136 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,037     | 0,038 | 0,134  | 0,134 | 0,135 | 0,137 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,069     | 0,070 | 0,160  | 0,159 | 0,160 | 0,161 |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,067     | 0,068 | 0,149  | 0,152 | 0,153 | 0,154 |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,074     | 0,074 | 0,169  | 0,168 | 0,169 | 0,171 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,154     | 0,156 | 0,321  | 0,323 | 0,324 | 0,329 |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,168     | 0,171 | 0,365  | 0,365 | 0,369 | 0,372 |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,179     | 0,182 | 0,377  | 0,378 | 0,381 | 0,383 |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | 0,255     | 0,259 | 0,539* | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | 0,242     | 0,246 | 0,511* | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | 0,226     | 0,230 | 0,483* | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,064     | 0,066 | 0,115  | 0,114 | 0,115 | 0,116 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,066     | 0,068 | 0,114  | 0,113 | 0,114 | 0,115 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,070     | 0,071 | 0,114  | 0,113 | 0,114 | 0,115 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,059     | 0,061 | 0,131  | 0,130 | 0,131 | 0,132 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,059     | 0,061 | 0,131  | 0,130 | 0,131 | 0,132 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,059     | 0,061 | 0,131  | 0,130 | 0,131 | 0,132 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 141       | 142   | 145   | 146   | 164    | 166   |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |        |       |
|                    | 25        | 26    | 27    | 28    | 29     | 30    |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,144     | 0,148 | 0,150 | 0,152 | 0,165  | 0,170 |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,150     | 0,155 | 0,157 | 0,159 | 0,173  | 0,178 |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,156     | 0,161 | 0,163 | 0,167 | 0,181  | 0,186 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | 0,372     | 0,378 | 0,385 | 0,386 | 0,427* | ----- |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | 0,392     | 0,399 | 0,406 | 0,408 | 0,440* | ----- |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | 0,469     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,117     | 0,123 | 0,125 | 0,126 | 0,134  | 0,138 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,117     | 0,123 | 0,125 | 0,126 | 0,134  | 0,138 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,117     | 0,123 | 0,125 | 0,126 | 0,134  | 0,138 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,166     | 0,170 | 0,171 | 0,176 | 0,197  | 0,203 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,163     | 0,167 | 0,168 | 0,173 | 0,194  | 0,200 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,164     | 0,168 | 0,170 | 0,174 | 0,195  | 0,201 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,182     | 0,188 | 0,191 | 0,192 | 0,208  | 0,213 |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,178     | 0,217 | 0,220 | 0,187 | 0,205  | 0,210 |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,197     | 0,229 | 0,232 | 0,206 | 0,224  | 0,229 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | 0,376     | 0,363 | 0,387 | 0,390 | 0,435* | ----- |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | 0,428*    | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | 0,437*    | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | -----  | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,107     | 0,114 | 0,126 | 0,133 | 0,142  | 0,147 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,121     | 0,128 | 0,135 | 0,139 | 0,143  | 0,152 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,136     | 0,143 | 0,145 | 0,146 | 0,145  | 0,158 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,139     | 0,144 | 0,146 | 0,146 | 0,161  | 0,164 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,141     | 0,143 | 0,155 | 0,156 | 0,169  | 0,174 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,140     | 0,144 | 0,150 | 0,151 | 0,165  | 0,169 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 169       | 187   | 189   | 191   | 193   | 260   |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |       |       |       |
|                    | 31        | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,172     | 0,189 | 0,191 | 0,194 | 0,196 | 0,318 |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,180     | 0,197 | 0,200 | 0,203 | 0,205 | 0,321 |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,188     | 0,206 | 0,209 | 0,212 | 0,214 | 0,324 |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,141     | 0,153 | 0,156 | 0,158 | 0,160 | 0,223 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,141     | 0,153 | 0,156 | 0,158 | 0,160 | 0,223 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,141     | 0,153 | 0,156 | 0,158 | 0,160 | 0,223 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,207     | 0,219 | 0,222 | 0,229 | 0,236 | 0,231 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,204     | 0,216 | 0,219 | 0,226 | 0,233 | 0,228 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,205     | 0,218 | 0,220 | 0,227 | 0,234 | 0,229 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,216     | 0,234 | 0,236 | 0,239 | 0,242 | 0,332 |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,214     | 0,233 | 0,237 | 0,239 | 0,243 | 0,348 |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,234     | 0,255 | 0,259 | 0,262 | 0,266 | 0,367 |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,149     | 0,169 | 0,173 | 0,174 | 0,176 | 0,221 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,165     | 0,168 | 0,171 | 0,198 | 0,201 | 0,226 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,182     | 0,168 | 0,171 | 0,223 | 0,226 | 0,233 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,167     | 0,170 | 0,173 | 0,175 | 0,177 | 0,212 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,178     | 0,192 | 0,195 | 0,198 | 0,200 | 0,276 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,172     | 0,181 | 0,184 | 0,186 | 0,188 | 0,243 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 263       | 265   | 303   | 305    | 322   | 323    |
|--------------------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Código película    | Pesos (g) |       |       |        |       |        |
|                    | 37        | 38    | 39    | 40     | 41    | 42     |
| <b>1/MPQ</b>       | 0,332     | 0,338 | 0,373 | 0,381  | 0,391 | 0,437* |
| <b>2/MPQ</b>       | 0,335     | 0,339 | 0,384 | 0,375  | 0,383 | 0,423* |
| <b>3/MPQ</b>       | 0,337     | 0,341 | 0,394 | 0,368  | 0,376 | 0,410* |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,232     | 0,235 | 0,248 | 0,251  | 0,254 | 0,266  |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,232     | 0,235 | 0,248 | 0,251  | 0,254 | 0,266  |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,232     | 0,235 | 0,248 | 0,251  | 0,254 | 0,266  |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,239     | 0,243 | 0,248 | 0,278  | 0,282 | 0,323  |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,236     | 0,240 | 0,245 | 0,275  | 0,279 | 0,320  |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,238     | 0,241 | 0,246 | 0,277  | 0,280 | 0,321  |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,344     | 0,351 | 0,368 | 0,371  | 0,375 | 0,393  |
| <b>2/MTQ</b>       | 0,359     | 0,365 | 0,385 | 0,390  | 0,394 | 0,416  |
| <b>3/MTQ</b>       | 0,380     | 0,386 | 0,405 | 0,411* | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | -----  |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,210     | 0,213 | 0,224 | 0,227  | 0,231 | 0,242  |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,265     | 0,268 | 0,281 | 0,285  | 0,291 | 0,306  |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,246     | 0,249 | 0,261 | 0,265  | 0,270 | 0,283  |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,253     | 0,256 | 0,267 | 0,271  | 0,275 | 0,287  |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,286     | 0,289 | 0,305 | 0,308  | 0,314 | 0,326  |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,270     | 0,272 | 0,286 | 0,289  | 0,295 | 0,307  |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 325       | 327   | 328    | 341   | 343   | 346   |
|--------------------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Código película    | Pesos (g) |       |        |       |       |       |
|                    | 43        | 44    | 45     | 46    | 47    | 48    |
| <b>1/MPQ</b>       | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQ</b>       | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQ</b>       | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,271     | 0,272 | 0,281  | 0,287 | 0,299 | 0,303 |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,271     | 0,272 | 0,281  | 0,287 | 0,299 | 0,303 |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,271     | 0,272 | 0,281  | 0,287 | 0,299 | 0,303 |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,328     | 0,329 | 0,348  | 0,360 | 0,369 | 0,373 |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,325     | 0,326 | 0,345  | 0,357 | 0,366 | 0,370 |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,326     | 0,327 | 0,346  | 0,359 | 0,367 | 0,371 |
| <b>1/MTQ</b>       | 0,398     | 0,399 | 0,412* | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQ</b>       | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQ</b>       | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | ----- | -----  | ----- | ----- | ----- |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,245     | 0,246 | 0,254  | 0,262 | 0,276 | 0,287 |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,310     | 0,310 | 0,320  | 0,327 | 0,344 | 0,351 |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,286     | 0,287 | 0,296  | 0,304 | 0,319 | 0,328 |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,292     | 0,293 | 0,301  | 0,308 | 0,318 | 0,322 |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | 0,331     | 0,333 | 0,344  | 0,351 | 0,362 | 0,366 |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | 0,311     | 0,313 | 0,323  | 0,329 | 0,340 | 0,344 |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas           | 416       | 438   | 439   | 449    | 463   | 465   |
|-----------------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Código película | Pesos (g) |       |       |        |       |       |
|                 | 49        | 50    | 51    | 52     | 53    | 54    |
| 1/MPQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MPQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MPQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MPQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MPQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MPQAO/0.6     | 0,305     | 0,343 | 0,353 | 0,341  | 0,343 | 0,373 |
| 2/MPQAO/0.6     | 0,305     | 0,343 | 0,353 | 0,341  | 0,343 | 0,373 |
| 3/MPQAO/0.6     | 0,305     | 0,343 | 0,353 | 0,341  | 0,343 | 0,373 |
| 1/MPQAO/1.2     | 0,377     | 0,369 | 0,382 | 0,386  | 0,389 | 0,400 |
| 2/MPQAO/1.2     | 0,374     | 0,366 | 0,379 | 0,383  | 0,386 | 0,397 |
| 3/MPQAO/1.2     | 0,375     | 0,367 | 0,380 | 0,385  | 0,388 | 0,398 |
| 1/MTQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MTQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MTQ           | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MTQG/0.6      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 2/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 3/MTQG/1.2      | -----     | ----- | ----- | -----  | ----- | ----- |
| 1/MTQAO/0.6     | 0,291     | 0,322 | 0,334 | 0,356  | 0,360 | 0,371 |
| 2/MTQAO/0.6     | 0,355     | 0,395 | 0,407 | 0,333  | 0,337 | 0,350 |
| 3/MTQAO/0.6     | 0,332     | 0,367 | 0,379 | 0,353  | 0,358 | 0,369 |
| 1/MTQAO/1.2     | 0,327     | 0,362 | 0,374 | 0,395  | 0,398 | 0,406 |
| 2/MTQAO/1.2     | 0,329     | 0,370 | 0,382 | 0,442* | ----- | ----- |
| 3/MTQAO/1.2     | 0,328     | 0,366 | 0,378 | 0,419* | ----- | ----- |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

Tabla N° 9 Continuación...

| Horas              | 483       | 484    | 486   | 553   | 579    |
|--------------------|-----------|--------|-------|-------|--------|
| Código película    | Pesos (g) |        |       |       |        |
|                    | 55        | 56     | 57    | 58    | 59     |
| <b>1/MPQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MPQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MPQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MPQAO/0.6</b> | 0,382     | 0,387  | 0,389 | 0,391 | 0,410* |
| <b>2/MPQAO/0.6</b> | 0,382     | 0,387  | 0,389 | 0,391 | 0,410* |
| <b>3/MPQAO/0.6</b> | 0,382     | 0,387  | 0,389 | 0,391 | 0,410* |
| <b>1/MPQAO/1.2</b> | 0,403     | 0,428* | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MPQAO/1.2</b> | 0,400     | 0,425* | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MPQAO/1.2</b> | 0,401     | 0,426* | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQ</b>       | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/0.6</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQG/1.2</b>  | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>1/MTQAO/0.6</b> | 0,376     | 0,383  | 0,387 | 0,390 | 0,437* |
| <b>2/MTQAO/0.6</b> | 0,355     | 0,363  | 0,366 | 0,368 | 0,440* |
| <b>3/MTQAO/0.6</b> | 0,374     | 0,382  | 0,385 | 0,388 | 0,448* |
| <b>1/MTQAO/1.2</b> | 0,413*    | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>2/MTQAO/1.2</b> | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |
| <b>3/MTQAO/1.2</b> | -----     | -----  | ----- | ----- | -----  |

\* Valor con el cual se alcanza el límite en el aumento de peso del desecante que contiene el tubo de prueba.

----- los valores ya no se midieron debido a que el tubo de prueba ya había alcanzado el límite en el aumento de peso del desecante

En la tabla N° 9 se puede observar como el peso del desecante en los tubos de prueba aumenta a medida incrementa el tiempo por ejemplo el tubo N° 1 después de una hora a aumentado de 0.000 g a 0.001 g luego de 49 horas a

0.053 g y estos alcanzan el valor limite a diferentes tiempos de exposición por lo que se puede inferir que probablemente las películas de diferente composición tengan permeabilidades distintas al vapor de agua ya que todos los tubos de prueba están sometidos a las mismas condiciones de experimentación.

Tabla N° 10 Resumen de los cálculos para permeabilidad

| Código película | Pendiente(g/h)** | WVT*** | Permeanza**** | WVP*****  |
|-----------------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 1/MPQ           | 1,181E-03        | 14,454 | 4,049E-03     | 4,200E-04 |
| 2/MPQ           | 1,191E-03        | 14,573 | 4,083E-03     | 3,665E-04 |
| 3/MPQ           | 1,199E-03        | 14,670 | 4,110E-03     | 3,761E-04 |
| 1/MPQG/0.6      | 2,595E-03        | 31,755 | 8,897E-03     | 8,530E-04 |
| 2/MPQG/0.6      | 2,705E-03        | 33,100 | 9,274E-03     | 9,452E-04 |
| 3/MPQG/0.6      | 3,282E-03        | 40,167 | 1,125E-02     | 1,192E-03 |
| 1/MPQG/1.2      | 4,835E-03        | 59,169 | 1,658E-02     | 2,054E-03 |
| 2/MPQG/1.2      | 4,766E-03        | 58,327 | 1,634E-02     | 2,025E-03 |
| 3/MPQG/1.2      | 4,869E-03        | 59,583 | 1,669E-02     | 2,066E-03 |
| 1/MPQAO/0.6     | 7,642E-04        | 9,352  | 2,620E-03     | 3,964E-04 |
| 2/MPQAO/0.6     | 7,642E-04        | 9,352  | 2,620E-03     | 3,820E-04 |
| 3/MPQAO/0.6     | 7,642E-04        | 9,352  | 2,620E-03     | 3,661E-04 |
| 1/MPQAO/1.2     | 9,023E-04        | 11,042 | 3,094E-03     | 3,944E-04 |
| 2/MPQAO/1.2     | 8,989E-04        | 11,001 | 3,082E-03     | 3,819E-04 |
| 3/MPQAO/1.2     | 8,999E-04        | 11,013 | 3,086E-03     | 3,823E-04 |
| 1/MTQ           | 1,222E-03        | 14,953 | 4,189E-03     | 3,664E-04 |
| 2/MTQ           | 1,280E-03        | 15,670 | 4,390E-03     | 4,275E-04 |
| 3/MTQ           | 1,389E-03        | 16,996 | 4,762E-03     | 4,470E-04 |
| 1/MTQG/0.6      | 3,259E-03        | 39,879 | 1,117E-02     | 1,245E-03 |
| 2/MTQG/0.6      | 2,978E-03        | 36,442 | 1,021E-02     | 1,224E-03 |
| 3/MTQG/0.6      | 3,126E-03        | 38,260 | 1,072E-02     | 1,328E-03 |
| 1/MTQG/1.2      | 4,835E-03        | 59,169 | 1,658E-02     | 2,386E-03 |
| 2/MTQG/1.2      | 4,796E-03        | 58,696 | 1,644E-02     | 2,367E-03 |
| 3/MTQG/1.2      | 4,469E-03        | 54,693 | 1,532E-02     | 2,267E-03 |
| 1/MTQAO/0.6     | 7,263E-04        | 8,889  | 2,490E-03     | 3,833E-04 |
| 2/MTQAO/0.6     | 7,831E-04        | 9,584  | 2,685E-03     | 4,345E-04 |
| 3/MTQAO/0.6     | 7,706E-04        | 9,431  | 2,642E-03     | 4,331E-04 |
| 1/MTQAO/1.2     | 8,422E-04        | 10,307 | 2,888E-03     | 4,727E-04 |
| 2/MTQAO/1.2     | 9,395E-04        | 11,498 | 3,221E-03     | 5,019E-04 |
| 3/MTQAO/1.2     | 8,918E-04        | 10,914 | 3,058E-03     | 4,768E-04 |

\*\* Ejemplo de gráfico y regresión lineal (ver anexo No 15)

\*\*\* Unidades g/hm<sup>2</sup>

\*\*\*\* Unidades g/hm<sup>2</sup>Pa

\*\*\*\*\* Unidades gmm/hm<sup>2</sup>Pa

En la tabla N° 10 se muestra el resumen de los resultados de los cálculos para llegar a los valores de permeabilidad de cada película, los cuales como se observa en la tabla son diferentes para cada una (figura N° 14).

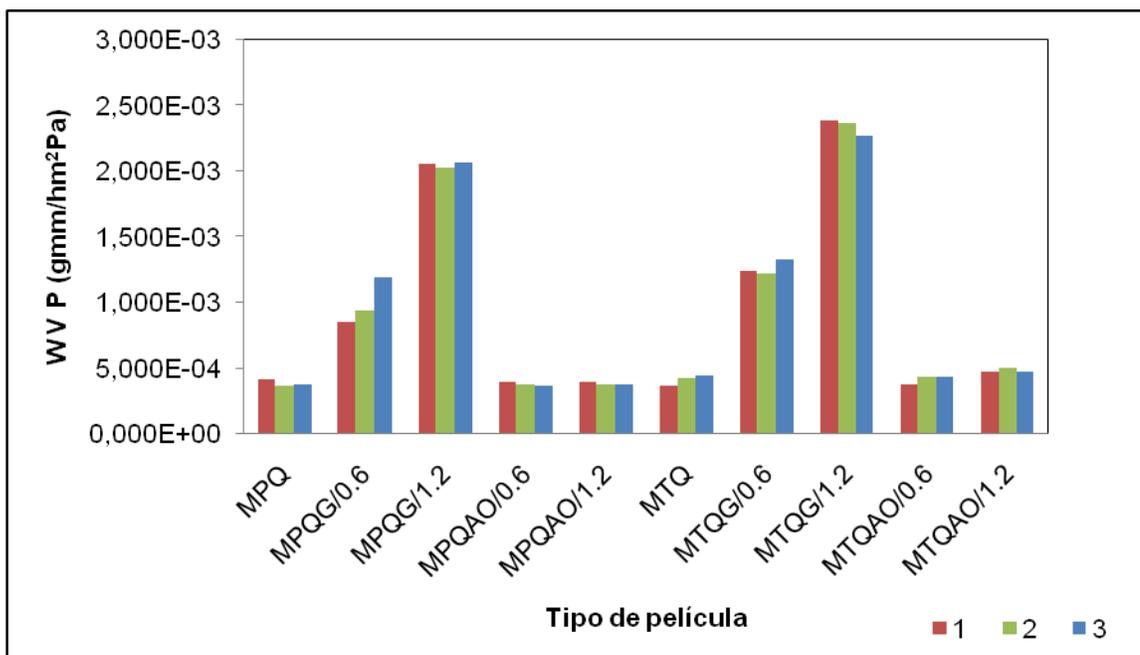


Figura N° 14 Gráfico permeabilidad vs tipos de películas en estudio.

Nota: los número de serie 1, 2 y 3 corresponden a un sub número dentro de cada categoría de tipo de película como por ejemplo la barra color rojo corresponde a la película N° 1 dentro de la categoría MPQ.

En la figura N° 14 se observa que las películas del mismo tipo tienen permeabilidades similares mientras que entre diferentes tipos estas varían, siendo las más permeables aquellas que contienen glicerina al 1.2% con valores entre 2.025E-03 a 2.386E-03, y la menos permeables las que contienen aceite de oliva al 0.6% y 1.2% en base poliestireno.

### 5.3. Análisis estadístico

#### 5.3.1. Nivel 1

En esta sección se muestran los resultados del análisis de varianza de un solo factor para comprobar que no existe diferencia significativa entre las medias de los grupos “concentración 1 vs concentración 2” de cada plastificante, es decir que los grupos son homogéneos.

##### 5.3.1.1. Poliestireno

Tabla N° 11 Análisis de varianza película de glicerina 0.6% vs película de glicerina 1.2%.

| Fuente          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | Coefficiente F | P-valor |
|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|---------|
| entre grupos    | 1,659E-06         | 1                  | 1,659E-06      | 106,45         | 0,0005  |
| Intra grupos    | 6,233E-08         | 4                  | 1,558E-08      |                |         |
| Total corregido | 1,721E-06         | 5                  |                |                |         |

\*\*Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

\*\*\*Cálculos realizados en spss15.0 para Windows

Dado que la probabilidad (p-valor) es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre la permeabilidad medias de un nivel de concentración de glicerina a otro, para un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 12 Análisis de varianza película de aceite de oliva 0.6% vs Película de aceite de oliva 1.2%

| Fuente          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | Coefficiente F | P-valor |
|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|---------|
| entre grupos    | 3,314E-11         | 1                  | 3,314E-011     | 0,24           | 0,652   |
| Intra grupos    | 5,604E-10         | 4                  | 1,401E-010     |                |         |
| Total corregido | 5,935E-10         | 5                  |                |                |         |

\*\*Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

\*\*\*Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

Puesto que la probabilidad es superior a 0.05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las Permeabilidad medias de un nivel de concentración de aceite de oliva a otro nivel, con un nivel de confianza de confianza del 95.0%.

### 5.3.1.2. Teflón

Tabla N° 13 Análisis de varianza película de glicerina 0.6% vs película de glicerina 1.2%

| Fuente          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | Coefficiente F | P-valor   |
|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------|
| entre grupos    | 1,731E-06         | 1                  | 1,731E-06      | 486,91         | 2,496E-05 |
| Intra grupos    | 1,422E-08         | 4                  | 3,556E-09      |                |           |
| Total corregido | 1,745E-06         | 5                  |                |                |           |

\*\*Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

\*\*\*Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

La probabilidad es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre la permeabilidad medias de un nivel de concentración de glicerina a otro, para un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla N° 14 Análisis de varianza película de aceite de oliva 0.6% vs películas de aceite de oliva 1.2%

| Fuente          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | Coefficiente F | P-valor |
|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|---------|
| entre grupos    | 6,700E-09         | 1                  | 6,700E-09      | 11,74          | 0,025   |
| Intra grupos    | 2,201E-09         | 4                  | 5,502E-10      |                |         |
| Total corregido | 8,901E-09         | 5                  |                |                |         |

\*\*Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

\*\*\*Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

La probabilidad es inferior a 0.05, por lo que hay diferencia estadísticamente significativa entre la permeabilidad medias de un nivel de concentración a otro para un nivel de confianza del 95.0%.

### 5.3.2. Nivel 2

En esta sección se muestran los resultados del análisis de varianza de dos factores para comprobar que no existe diferencia significativa entre las medias de los grupos de película de quitosano más plastificante (quitosano + glicerina y quitosano + aceite de oliva) y quitosano sólo, con sus respectivas concentraciones. También se analizaron los resultados de los dos factores con la prueba de Tukey a fin de verificar si existen diferencias significativas intra-grupos.

Tabla N° 15 Análisis de varianza, sumas de cuadrados de tipo III, película moldeada en poliestireno con el 95 % de confianza.

| Fuente                          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrada | F        | p-valor   |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------|-----------|
| Modelo corregido                | 6,32E-06          | 4                  | 1,58E-06       | 244,751  | 6,288E-10 |
| Intercepto                      | 8,80E-06          | 1                  | 8,80E-06       | 1363,784 | 5,045E-12 |
| Plastificante                   | 3,89E-06          | 1                  | 3,89E-06       | 603,880  | 2,865E-10 |
| Concentración del plastificante | 8,37E-07          | 1                  | 8,37E-07       | 129,700  | 4,770E-07 |
| Combinados                      | 8,22E-07          | 1                  | 8,21E-007      | 127,402  | 5,185E-07 |
| Error                           | 6,45E-08          | 10                 | 6,45E-009      |          |           |
| Total                           | 1,70E-05          | 15                 |                |          |           |
| Total corregido                 | 6,38E-06          | 14                 |                |          |           |

\*\* Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

Dado que la p-valor es menor a 0.05 todos los factores tiene efecto estadísticamente significativo en permeabilidad para un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla N° 16 Prueba de Tukey para plastificantes película moldeada en poliestireno

| (I) plastificante     | (J) plastificante | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | p-valor   | Intervalo 95% de confianza |                 |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|----------------|-----------|----------------------------|-----------------|
|                       |                   |                            |                |           | Limite inferior            | Limite superior |
| Sin plastificante (A) | B                 | -3,683E-06                 | 5,680E-05      | 0,998     | -1,520E-04                 | 1,594E-04       |
|                       | C                 | -1,135E-03*                | 5,680E-05      | 2,036E-08 | -1,291E-03                 | -9,793E-04      |
| Aceite se oliva (B)   | A                 | -3,683E-06                 | 5,700E-05      | 0,998     | -1,594E-04                 | 1,520E-04       |
|                       | C                 | 1,139E-03*                 | 4,638E-05      | 1,588E-08 | -1,266E-03                 | -1,012E-03      |
| Glicerina (C)         | A                 | -1,135E-03*                | 5,700E-05      | 2,036E-08 | 9,793E-04                  | 1,291E-03       |
|                       | B                 | 1,139E-03*                 | 4,638E-05      | 1,588E-08 | 1,012E-03                  | 1,266E-03       |

\*dado que el valor p es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre estos grupos.

\*\* Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

En la tabla N° 16 se muestra que las películas sin plastificante y las películas con aceite de oliva no presentan diferencias significativas entre sí ya que los valores de significancia (p-valor) son mayores que 0.05, si comparamos el grupo de los filmes que no contienen plastificante y los que contienen aceite de oliva contra aquellos con glicerina, sí se observa diferencia significativa, puesto que la probabilidad es menor de 0.05

Tabla N° 17 prueba de Tukey para concentración película moldeada en poliestireno

| (I) plastificante | (J) plastificante | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | p-valor   | Intervalo 95% de confianza |                 |
|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------|-----------|----------------------------|-----------------|
|                   |                   |                            |                |           | Limite inferior            | Limite superior |
| 0 %(A)            | B                 | -3,016E-04*                | 5,680E-05      | 0,001     | -4,573E-04                 | -1,458E-04      |
|                   | C                 | -8,297E-04*                | 5,680E-05      | 1,360E-07 | -9,854E-04                 | -6,740E-04      |
| 0,6 %(B)          | A                 | 3,016E-04*                 | 5,680E-05      | 0,001     | 1,459E-04                  | 4,572E-04       |
|                   | C                 | -5,282E-04*                | 4,638E-05      | 1,312E-06 | -6,553E-04                 | -4,010E-04      |
| 1,2 %(C)          | A                 | 8,297E-04*                 | 5,680E-05      | 1,360E-07 | 6,740E-04                  | 9,854E-04       |
|                   | B                 | 5,282E-04*                 | 4,638E-05      | 1,312E-06 | 4,010E-04                  | 6,553E-04       |

\*dado que el valor p es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre estos grupos

\*\* Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

En la tabla N° 17 se muestra que las películas con concentraciones de 0 %, 0.6 % y 1.2% de plastificante presentan diferencias significativas ente si ya que los valores de significancia (p-valor) son menores que 0.05.

Tabla N° 18 Análisis de varianza, sumas de cuadrados de tipo III, película moldeada en teflón con el 95 % de confianza.

| Fuente                          | Suma de cuadrados | Gl* | Media cuadrada | F        | p-valor   |
|---------------------------------|-------------------|-----|----------------|----------|-----------|
| Modelo corregido                | 8,45E-06          | 4   | 2,11E-06       | 1057,772 | 4,364E-13 |
| intercepto                      | 1,19E-05          | 1   | 1,19E-05       | 5986,552 | 3,176E-15 |
| plastificante                   | 5,49E-06          | 1   | 5,49E-06       | 489,321  | 1,541E-13 |
| Concentración del plastificante | 9,77E-07          | 1   | 9,77E-07       | 381,404  | 7,996E-10 |
| combinados                      | 5,61E-07          | 1   | 7,61E-06       | 2898,977 | 2,708E-09 |
| Error                           | 2,00E-08          | 10  | 2,00E-09       |          |           |
| Total                           | 2,30E-05          | 15  |                |          |           |
| Total corregido                 | 8,47E-06          | 14  |                |          |           |

\*Grados de libertad

Puesto que la p-valor es inferior a 0.05 todos los factores tienen efecto estadísticamente significativo en la permeabilidad para un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla N° 19 Prueba de Tukey para plastificantes película moldeada en teflón.

| (I) plastificante     | (J) plastificante | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | p-valor   | Intervalo 95% de confianza |                 |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|----------------|-----------|----------------------------|-----------------|
|                       |                   |                            |                |           | Limite inferior            | Limite superior |
| Sin plastificante (A) | B                 | -3,675E-05                 | 3,159E-05      | 0,500     | -1,234E-04                 | 4,985E-05       |
|                       | C                 | -1,390E-03*                | 3,159E-05      | 1,544E-08 | -1,476E-03                 | -1,303E-03      |
| Aceite se oliva (B)   | A                 | 3,675E-05                  | 3,160E-05      | 0,500     | -4,985E-05                 | -1,282E-03      |
|                       | C                 | -1,352E-03*                | 2,579E-05      | 1,544E-08 | -1,423E-03                 | 1,234E-04       |
| Glicerina (C)         | A                 | 1,390E-03*                 | 3,159E-05      | 1,544E-08 | 1,303E-03                  | 4,985E-05       |
|                       | B                 | 1,352E-03                  | 2,579E-05      | 1,544E-08 | 1,282E-03                  | -1.303E-03      |

\*Dado que el valor p es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre estos grupos

\*\* Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

En la tabla N° 19 se muestra que las películas sin plastificante y las películas con aceite de oliva no presentan diferencias significativas entre sí ya que los valores de significancia (p-valor) son mayores que 0.05, si se compara el grupo de los filmes que no contienen plastificante y los que contienen aceite de oliva contra aquellos con glicerina, sí se observa diferencia significativa, puesto que la probabilidad es menor de 0.05

Tabla N° 20 Prueba de Tukey para concentración película moldeada en teflón.

| (I) plastificante | (J) plastificante | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | p-valor   | Intervalo 95% de confianza |                 |
|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------|-----------|----------------------------|-----------------|
|                   |                   |                            |                |           | Limite inferior            | Limite superior |
| 0 %(A)            | B                 | -4,277E-04*                | 3,159E-05      | 2,672E-07 | -5,143E-04                 | -3,411E-04      |
|                   | C                 | -4,277E-04*                | 3,159E-05      | 1,545E-08 | -1,085E-03                 | -9,117E-04      |
| 0,6 %(B)          | A                 | -9,983E-04*                | 3,159E-05      | 2,672E-07 | 3,411E-04                  | 5,143E-04       |
|                   | C                 | 4,277E-04*                 | 2,579E-05      | 1,701E-08 | -6,413E-04                 | -5,000E-04      |
| 1,2 %(C)          | A                 | -5,706E-04*                | 3,159E-05      | 1,545E-08 | 9,117E-04                  | 1,085E-04       |
|                   | B                 | -9,983E-04*                | 2,579E-05      | 1,701E-08 | 5,000E-04                  | 6,413E-04       |

\*Dado que el valor p es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre estos grupos

\*\* Cálculos realizados en SPSS 15.0 para Windows

En la tabla N° 20 se muestra que las películas con concentraciones de 0 %, 0.6 % y 1.2% de plastificante presentan diferencias significativas entre sí ya que los valores de significancia (p-valor) son menores que 0.05.

### 5.3.3. Nivel 3

En esta sección se muestran los resultados del análisis de varianza de tres factores para comprobar que no existe diferencia significativa entre las medias de los grupos de película de quitosano moldeados en base poliestireno y teflón con sus respectivos plastificantes y concentraciones de estos.

Tabla N° 21 Análisis de varianza, sumas de cuadrados de tipo III, tipo de base utilizada en el moldeo con el 95 % de confianza.

| Fuente                               | Suma de cuadrados | Gl* | Media cuadrada | F        | p-valor   |
|--------------------------------------|-------------------|-----|----------------|----------|-----------|
| Modelo corregido                     | 1,49E-05          | 9   | 1,66E-06       | 392,394  | 1,720E-20 |
| intercepto                           | 2,06E-05          | 1   | 2,06E-05       | 4883,543 | 2,249E-25 |
| base                                 | 1,20E-07          | 1   | 1,20E-07       | 28,471   | 3,192E-05 |
| plastificante                        | 9,31E-06          | 1   | 9,31E-06       | 2203,732 | 6,127E-22 |
| concentración                        | 1,81E-06          | 1   | 1,81E-06       | 428,696  | 5,569E-15 |
| base * plastificante                 | 6,85E-08          | 1   | 6,85E-08       | 16,227   | 0,001     |
| base * concentración                 | 2,70E-09          | 1   | 2,70E-09       | 0,639    | 0,433     |
| plastificante * concentración        | 1,58E-06          | 1   | 1,58E-06       | 374,692  | 2,014E-14 |
| base * plastificante * concentración | 5,82E-10          | 1   | 5,82E-10       | 0,138    | 0,714     |
| Error                                | 8,45E-008         | 20  | 4,22E-09       |          |           |
| Total                                | 4,00E-005         | 30  |                |          |           |
| Total corregido                      | 1,50E-005         | 29  |                |          |           |

\*Grados de libertad

En la tabla N° 21 si se toma como único factor la base existe diferencia significativa ya que la probabilidad es menor que 0.05, si tomamos la combinación de los tres factores, es decir base, plastificante y la concentración de estos no existe diferencia significativa entre los valores de permeabilidad, dado que el valor de significancia es 0.714 y este valor es mayor a 0.05.

## VI. CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES

1. Las películas de quitosano tratadas bajo las mismas condiciones de trabajo, es decir molde de la misma clase y tamaño, cantidad de solución utilizada en el moldeo, concentración de dicha solución, iguales condiciones de secado, mismo plastificante y concentración de este dan como resultados filmes con espesores similares.
2. Al variar los factores de tipo y concentración de plastificante los espesores varían, debido al hecho de que los plastificantes modifican la organización estructural de los componentes de la película.
3. La forma en que se produce el fenómeno de sedimentación durante la formación de la película afecta los grosores y textura de superficie externa, en base poliestireno se obtienen filmes lisos del lado de la película que esta en contacto directo con la base y en teflón se obtienen filmes porosos.
4. El tipo de plastificante y concentración afecta la elasticidad, obteniendo películas más elásticas con glicerina como plastificante y la concentración de éste es directamente proporcional a su elasticidad.

5. La base y concentración de plastificante afecta la cantidad de carga tensil que una película puede tolerar, de esta forma si el plastificante es glicerina presentan mayor resistencia si ha sido moldeada en poliestireno y si es aceite de oliva presentan mejor resistencia las moldeadas en base teflón.
6. Cuando no existe ningún plastificante es indiferente el tipo de base utilizada en el moldeo ya que los valores de resistencia tensil no se modifican de una a otra, esto se debe a que no existe la influencia del plastificante.
7. La presencia de plastificante modifica los valores de fuerza tensil y en este caso la base también, presentando mayor resistencia las moldeadas en base teflón con aceite de oliva en ambas concentraciones y las que contienen glicerina al 0.6% en base poliestireno esto debido a que cada base produce filmes con textura de superficie diferente, la posición que toma el plastificante entre las cadenas de polímero, el tipo de unión polímero-plastificante y en el caso del aceite de oliva la posible interacción entre el y el poliestireno de la base.
8. Cuando se utiliza como plastificante glicerina la permeabilidad al vapor de agua de las películas se verá modificada al utilizar concentraciones

diferentes y bases de moldeo diferentes, a mayor concentración de glicerina mayor permeabilidad al vapor del agua debido a la afinidad de la glicerina con el agua.

9. El aceite de oliva como plastificante no presenta un efecto significativo en las propiedades de barrera al vapor del agua en las películas de quitosano debido a que es un plastificante hidrófobo.
10. La película que presenta mejores características es la de glicerina al 0.6% ya que presenta valores intermedios de permeabilidad, elasticidad, carga tensil y resistencia. Esto en base a la combinación de las características buscada

## VII. RECOMENDACIONES

## 6. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio modificando los factores en observación (grado de desacetilación del quitosano, ácido de disolución, concentración de las soluciones para el moldeo, condiciones de secado, etc.) para determinar como estos parámetros afectan las propiedades de permeabilidad, solubilidad y elongación.
2. Realizar un estudio de medición de la permeabilidad al vapor de agua en películas de quitosano usando como plastificante glicerina en diferentes concentraciones mayores y menores a 0.6% para encontrar el film ideal con respecto a características de permeabilidad y mecánicas.
3. Continuar con el estudio del quitosano para aplicaciones en el área alimenticia para el recubrimiento de alimentos realizando investigaciones puntuales con condiciones de almacenamiento de frutas y/o verduras específicas.
4. Promover el aprovechamiento de los recursos naturales, realizando investigaciones del quitosano con el fin de potenciar su utilización en la industria de alimentos como barrera de recubrimiento con el proposito de lograr mayor vida de anaquel anaquel.

5. Que en los próximos estudios donde se utilice quitosano como materia prima, éste sea obtenido a partir de los desperdicios que produce la industria pesquera es decir exoesqueletos de camarón y langostino promoviendo así el aprovechamiento de los recursos naturales.
6. Promover investigaciones del quitosano para la producción de este polímero en el salvador.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

1. Alas Casco, A. y otros. 2007. Estudio del grado de desacetilación del quitosano y su influencia en la remoción de plomo presente en aguas no potables. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. p. 36-39.
2. Alvarado, J. de D. y otros. 2005. Obtención de quitina, transformación a quitosanos y elaboración de películas biodegradables a partir de desperdicios de crustáceos. *Ciencia y Tecnología*, 4(2): 39-47.
3. ASTM international. 2005. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials ASTM E 96/E 96M – 05. United States. 11p.
4. Aulton ME. y otros. 1981. The mechanical properties of hydroxypropylmethylcellulose films derived from aqueous systems. Vol 1: The influence of plasticizers. *Drug Dev Ind Pharm*. 7(6):649-680.
5. Aydinli, M. y otros. 2000. Water sorption and water vapor permeability properties of polysaccharide (Locust Bean Gum) based edible films. *Science Direct*. 3(1):63-67.

6. Banker GS. 1996. Film coating theory and practice. *Pharm Sci.* 55(1):81-89.
7. Beaney, P. y otros. 2005. Comparison of Chitins Produced by Chemical and Bioprocessing Methods. *Chemical. Technology. Biotechnology.* 80(2):145-150.
8. Bernkop-schnurch, A. 2001. Chemically modified chitosans as enzyme inhibitors. *Adv Drug Del Rev.* 52 (2):127-137.
9. Butler, BL. y otros. 1996. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. *Journal of food science* 61(5): 953-961.
10. Caner C. y otros. 1998. Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer, and storage. *Journal Food Science.* 63(6): 1049-1053.
11. Chandi, T. y otros. 1990. Chitosano as a biomaterial. *Artificial Cells, Artificial Organs.* 18(1): p. 1-24.

12. Convención de la Farmacopea de los Estados Unidos de América. 1951. Farmacopea de los Estados Unidos de América. ed.14. versión en español p. 965, 982, 983.
13. Cristales Villacorta, C. 2004. Síntesis y caracterización de quitosano por calorimetría diferencial y cromatografía de permeación. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Químicas. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. p.25, 26, 46.
14. Cruz Ezguizabal, F. y otros. 2008. Evaluación de retención de cromo en mezclas de quitosano con arcillas de la zona de Suchitoto-Cinquera y Texistepeque. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. p. 50-52.
15. Cunningham, P. y otros. 2000. Tensile properties of soy protein isolate films produced by a thermal compaction technique. Food Science. 65(4):668-671.
16. Davies, RC. y otros. 1969. The dependence of lysozyme activity on pH and ionic strength. Biochemical et Biophysical. 178(1):294-503.
17. Díaz Crespín, G. 2002. Caracterización de Quitina y Quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. Tesis para optar al grado de Licenciatura en

Ciencias Químicas. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador.  
p.26,27.

18. Donhowe, G. y otros. 1993. Water vapor and oxygen permeability of wax films. *J AOCS*. 70(9):867-873.
19. Escalante, P. y otros. 2003. Elaboración de un adhesivo a partir de látex de cojon de puerco (*Tabernae montana*). Tesis para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. p. 28-29.
20. Esquivel M. 2005. Obtención de hidrogeles de quitosano a partir del camarón *Pleuoncodes planipes*. Tesis Licenciatura de Química Industrial. Costa Rica. Universidad Nacional. 15 p.
21. Gontard, N. y otros. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of and edible wheat gluten film. *Food Science*. 58(1):206-211.
22. Harrison, RW. y otros. 2002. Value-added from crawfish and catfish. *Louisiana Agriculture*. Fall issue. 45(4):20-21.

23. Helman, J. 1982. Farmacotécnica Teórica y Práctica. 1 ed. Calz. De Tlalpan Núm. 4620, México, D.F. Cia. Editorial Continental, S.A. de C.V., México. Tomo 3, p. 927-938. Tomo 7, p. 1650.
24. Hirano, S. y otros. 1990. Chitosan as an ingredient for domestic animal feeds. Agric Food Chemical. 38(1):1214-1217.
25. Instituto Tecnológico de Massachusetts. 1978. First International Conference on Chitin/Chitosan (1, 1978, MIT: Cambridge ). Film-forming capability of chitosan. Muzzarelli RAA, Pariser ER. editors. Massachusetts, united states. MA. P. 199-209.
26. Kirk, R. y otros. 1966. Enciclopedia de tecnología química, unión tipográfica editorial Hispanoamérica. Primera edición en español Traducido por Oscar Carrera y otros. revisada por Julio Colón. México. Tomo 1 p. 336 y 337, Tomo 8 p. 949, Tomo 9 p. 501.
27. Kittur, FS. y otros. 1998. Functional packaging properties of chitosan films. Z Lebensm Unters Forsch A 206(1): 44-47.

28. Kochkina, ZM. y otros. 1995. Inhibition by chitosan of productive infection of the T-series bacteriophages in the *Escherichia coli* culture. *Microbiology*. 64(2):211-215.
29. Lárez, C. 2006. Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*. 1(2): 15-21.
30. Li J y otros. 1997. Effect of degree of deacetylation of chitin on the properties of chitin crystallites. *Apply Polymers Science* 65(2):373-380.
31. Lim, LY. y otros. 1998. Gamma-irradiation of chitosan. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 43(3):282-290.
32. Mark L. Brenson y otros. 1992. Estadística descriptiva básica en administración conceptos y aplicación. Cuarta edición. México. Prentice-Hall Hispanoamérica S. A. p. 483-525.
33. McHugh, TH. y otros. 1994. Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technol* 48(1):97-103.
34. Meyers, SP. y otros. 1999. Effect of physical and chemical treatments on chitosan viscosity. *Journal of Korean Soc for Chitin and Chitosan* 4:177-83.

35. Miranda, P. y otros. 2004. Comportamiento de películas de quitosano compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Journal of the Mexican Chemical Society (Sociedad Química de México)*, 47(004): 331-336.
36. Muzzarelli, RAA. y otros. 1994. Chitosan from *Absidia coerulea*. *Carbohydrate Polymers Elsevier Science editor*. 25(1):45-50.
37. Nadarajah K. 2005. development and characterization of antimicrobial edible films from crawfish chitosan. Disponible en: [http://etd.lsu.edu/docs/available/etd04142005152845/unrestricted/Nadarajah\\_dis.pdf](http://etd.lsu.edu/docs/available/etd04142005152845/unrestricted/Nadarajah_dis.pdf). revisado el 15 mayo de 2009.
38. Nadarajah K, y otros. 2003. Extending the shelf life of fresh catfish fillets during refrigerated storage by chitosan coating [abstract]. In: *IFT Annual Meeting Book of Abstracts; 2003 July 12-16; Chicago, IL. Chicago, Ill.: Institute of Food Technologists. Abstract 76A-4.*
39. Obara, S. y otros. 1995. Influence of processing variables on the properties of free films prepared from aqueous polymeric dispersions by a spray technique. *International journal of pharmaceutics* 126 (1-2): 1-10.

40. Ouattara, B. y otros. 2000. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*. 62(1):139-148.
41. Pangburn y otros. 1982. Lysozyme degradation of partially deacetylated chitin, its films and hydrogels. *Biomaterials* 3(1):105-108.
42. Pantaleone, D. y otros. Scollar, *Unusual susceptibility of quitosano to enzymic hydrolysis*. *Carbohydrate Research*. 1992. 237(1):325-332.
43. Parada, L. y otros. 2004. Caracterización de quitosano por viscosimetría capilar y valoración potenciométrica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1):1-16.
44. Pelletier, A. y otros. 1990. Chitin/quitosano transformation by thermo-mechano-chemical treatment including characterization by enzymatic depolymerization. *Biotechnology and bioengineering*. 36(3): 310-315.
45. Peniche, C. 2006. Estudios sobre Quitina y Quitosano. Tesis en opción del Grado Doctor en Ciencias. Ciudad de La Habana, Cuba. Universidad de La Habana. p.3-5, 55-71.

46. Peniche, C. y otros. 2003. Quitosano: an attractive biocompatible polymer for microencapsulation. *Macromol. Wiley-VCH: Macromolecular bioscience.* 3(10): 511-520.
47. Peressini, D. y otros. 2004. Tensile properties, water vapor permeabilities and solubilities of starch-methylcellulose-based edible films. *Food Science.* 1(16):5-12.
48. Pinotti, A. y otros. 2008; Caracterización de películas biodegradables compuestas de hidrocoloides. Disponible en: <http://www.encb.ipn.mx/cibia/Tomo II / II-52.pdf>. revisado el 15 mayo de 2009.
49. Rao, SB y otros. 1995. Sterilization of chitosan: implications. *Journal Biomatter Applications* 10(2):136-143.
50. Rao, SB. y otros. 1997. Use of chitosan as a biomaterial: studies on its safety and haemostatic potential. *Biomedical Mater Res.* 34(1):21-28.
51. Reglamento del Consejo de las Comunidades Europeas 356/92, Consejo de las Comunidades Europeas (CCE), 1992, disponible en [www.asoliva.es](http://www.asoliva.es) o en [ww.boes.es](http://ww.boes.es).

52. Sakellariou, PL. y otros. 1986. An evaluation of the interaction and plasticizing efficiency of the polyethylene glycols in ethyl cellulose and hydroxypropyl methyl cellulose films using the torsional braid pendulum. *Int J Pharm.* 31(1-2):55-64.
53. Sánchez, A. y otros. 2007. Síntesis y caracterización de hidrogeles de quitosano obtenido a partir del camarón langostino (***Pleuoncodes planipes***) con potenciales aplicaciones biomédicas. *Revista iberoamericana de Polímeros.* 8(4): 241-267.
54. Sashiwa, H. y otros. 1990. Lysozyme susceptibility of partially deacetylated chitin. *International Journal of Biological Macromolecules* 12(5):295-296.
55. Shigemasa, y. y otros. 1994. Enzymatic degradation of chitins and partially deacetylated chitins. *International Journal of Biological Macromolecules* 16(1):43-49.
56. Synowiecki, J. 2000. The recovery of protein hydrolyzate during enzymatic isolation of chitin from shrimp Crangon processing discard. *Food Chem.* 68(2): p. 147-152.

57. The United States Pharmacopeial, convention inc. 2005. The United States Pharmacopeia. 28 edition. United States. p. 9, 2860, 2864, 2866.
58. Trejo V. y otros. 2000. Estimación de la permeabilidad al vapor de agua a películas a base de quitosano. Journal of the Mexican chemical society. 45(1):1-5. disponible en: <http://www.encb.ipn.mx/cibia/Tomoll/II-52.pdf>
59. Tsaih, M.L. y otros. 2003. The effect of reaction time and temperature during heterogenous alkali deacetylation on degree of deacetylation and molecular weight of resulting quitosano. Journal of applied polymer science. 88(13): 2917-2923.
60. Webber CJ. 2000. Biobased packaging materials for the food industry: Status and perspectives. The report of Food Biopack Project. The Royal Veterinary and Agricultural University. Frederiksberg C, Denmark. Available from: [www.mli.kvl.dk/foodchem/special/biopack/](http://www.mli.kvl.dk/foodchem/special/biopack/).
61. Wiles, JL. y otros. 2000. Water vapor transmission rates and sorption behavior of chitosan films. Food Science. 65(7):1175-1179.
62. Wong, DW. y otros. 1992. Chitosan-lipid films: Microstructure and surface energy. Journal of agricultural and food chemistry. 40(4):540-544.

ANEXOS

**ANEXO N° 1**  
**ESQUEMA DE OBTENCIÓN DEL QUITOSANO**

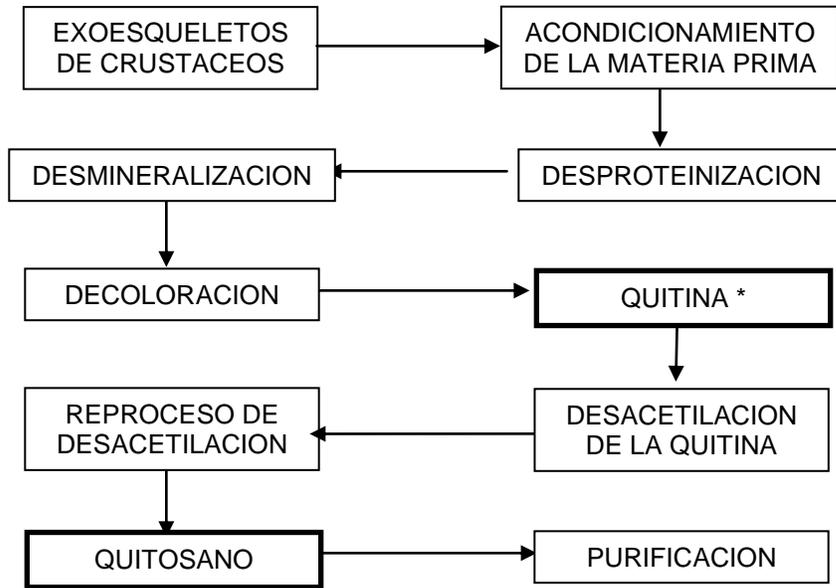


Figura N° 15 Esquema de obtención de quitosano

**ANEXO N° 2**  
**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA TRANSMISION DE VAPOR DE**  
**AGUA EN MATERIALES**

**Designación: E96 / E 96M-05**

**Método de Prueba Estándar para la Transmisión de Vapor de Agua en Materiales.**

Este estándar se expide bajo la denominación fija E96 / E 96M, el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de su nueva aprobación última. Un exponente Épsilon ( $\epsilon$ ) indica un cambio de redacción desde la última revisión o nueva aprobación.

Este estándar ha sido aprobado para su uso por las agencias del Departamento de Defensa.

## **1. Ámbito**

1.1 Estos métodos de ensayo se refieren a la determinación de la transmisión del vapor de agua (WVT) de materias a través del cual el paso del vapor de agua puede ser de importancia, tales como papel, películas de plástico, materiales de otro tipo, tableros de fibra de yeso y productos de yeso, corteja a los productos y plástico. Los métodos de prueba se limitan a los especímenes no más de 1 ¼ pulgadas (32 mm) de espesor. Dos métodos básicos, el método con agua y el método con desecante, se proporcionan para la medición de la permeabilidad, y dos variaciones incluyen las

condiciones de disposición con un lado mojado y las condiciones de disposición con humedad baja en un lado y humedad alta en el otro. No se debe esperar los mismos resultados obtenidos por diferentes métodos. El método debe ser seleccionado de acuerdo al que más se acerca a las condiciones de uso.

1.2 Los valores indicados en unidades pulgada-libra deben ser considerados separadamente como el estándar. En el texto, las unidades SI se muestran entre paréntesis. Los valores indicados en cada sistema no son equivalentes, por lo que cada sistema debe ser utilizado independientemente de la otra. La combinación de los valores de los dos sistemas dará lugar a la no conformidad con la norma. Sin embargo los resultados obtenidos se pueden convertir de un sistema a otro mediante factores de conversión apropiados.

## **2. Terminología**

2.1 Definiciones de términos utilizados en esta norma se encuentra en la terminología C 168, de la cual se cita lo siguiente: "Permeabilidad al vapor de agua- la tasa de tiempo de transmisión de vapor de agua por unidad de área de superficie de material de espesor unitario, inducida por la diferencia

de presión de vapor entre dos superficies específicas, en virtud de la temperatura y condiciones especificadas de humedad.

Discusión-permeabilidad es una propiedad de un material, pero la permeabilidad de un cuerpo que se comporta como un material puede ser utilizada. La permeabilidad es el producto aritmético de la permeanza y el grosor.

Permeanza al vapor de agua- la tasa de tiempo de transmisión de vapor de agua por unidad de superficie de material plano o en construcción inducida por la diferencia unitaria de presión de vapor entre dos superficies específicas, en virtud de temperatura y humedad especificados.

Discusión-Permeanza es una evaluación de desempeño y no una propiedad de un material.

Tasa de transmisión de vapor de agua-La tasa de flujo constante de vapor de agua por unidad de tiempo, por unidad de superficie de un cuerpo normal en superficies específicas en paralelo, en las condiciones específicas de temperatura y humedad en cada superficie.

### **3. Resumen de métodos de ensayo**

3.1 En el Método desecante el espécimen a experimentar se sella a la boca abierta de un plato de prueba que contiene un desecante, y el ensamble es colocado en una atmósfera controlada. Pesadas periódicas determinan la tasa de movimiento de vapor de agua a través de la muestra en el desecante.

3.2 En el método de agua, el plato contiene agua destilada, y las pesadas determinan la tasa de movimiento de vapor de agua a través de la muestra a la atmósfera controlada. La diferencia de presión de vapor es, nominalmente, la misma en ambos métodos, excepto en la variación, con los extremos del lado contrario del espécimen humedecido por el agua.

### **4. Significado y Uso**

4.1 El objetivo de estas pruebas es obtener, a través de aparatos simples, valores fiables de la transferencia de vapor de agua a través de materias permeables y semipermeables, expresada en unidades adecuadas. Estos valores son para el uso en el diseño, fabricación y comercialización. Un valor de permeabilidad obtenido lo comparamos con un conjunto de condiciones de prueba, Por esta razón, las condiciones de prueba de uso son de suma importancia.

## **5. Equipo**

El plato de prueba debe ser de un material no corrosivo impermeable al vapor del agua puede tener cualquier forma, el peso ligero es deseable, se prefiere un plato largo, pero su tamaño y peso están limitados cuando se elige una balanza analítica para detectar pequeños cambios del peso.

## **6. Materiales**

6.1 En el método de desecante, se emplea cloruro de calcio anhidro (véase Nota) en forma de pequeñas esferas que pasará un tamiz N° 8 (2,36 mm), y libremente pasará un tamiz N° 30 (600 micras). Se seca a 400° F (200° C) antes de usarlo.

Nota: Si el  $\text{CaCl}_2$  reacciona químicamente en la muestra, un desecante absorbente como la sílica gel activada a 400° F (200° C) se puede utilizar, pero la ganancia por este desecante durante la prueba puede ser limitado hasta un 4%.

## **7. Procedimiento para el método con desecante**

7.1 Llenar el recipiente de prueba con desecante hasta  $\frac{1}{4}$  pulgadas (6 mm) de la muestra. Deje espacio suficiente para mezclar el desecante, que debe hacerse cada vez que se pese.

7.2 Coloque la muestra en el portamuestras boca arriba y colocarla en la cámara de control, la muestra arriba, pesar de una vez. (Este peso puede ser útil para la comprensión de la humedad inicial de la muestra).

7.3 Pesar el portamuestras ensamblado periódicamente, a menudo es suficiente con ocho o diez puntos de datos durante la prueba. Un punto de datos es el peso en un momento determinado. El tiempo en que se realiza la pesada deben registrarse con una precisión de aproximadamente el 1% del lapso de tiempo entre las sucesivas pesadas. Así pues, si son pesadas cada hora, registre el tiempo con una precisión de 30 s; si los registros se hacen todos los días, un tiempo cercano de 15 min estaría permitido.

El primer peso puede cambiar rápidamente, y más tarde un estado de equilibrio se mantiene donde la tasa de cambio es prácticamente constante. Los pesos deben llevarse a cabo sin la eliminación de los portamuestras de la atmósfera controlada, pero si la salida se establece como necesaria, la temperatura o humedad relativa, o ambos, deben mantenerse al mínimo. Cuando los resultados de la transmisión de vapor de agua se obtienen, se espera que sean menos de 0,05 permios ( $3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ), una blanco simulado es muy recomendable. Esta blanco simulado debe atribuirse a un portamuestras vacío en la forma acostumbrada.

El efecto ambiental de la variación de temperatura y la variabilidad de la presión debido a la fluctuación de la presión barométrica puede ser aritméticamente tarada de los valores de peso. Esta precaución permite más fiables logros de condiciones de equilibrio. Analizar los resultados según lo estipulado en "Cálculo y Análisis de Resultados".

7.4 El análisis debe terminar antes que el desecante exceda el 10% del peso inicial de el, El peso del plato de prueba puede incrementar o disminuir cuando el contenido de humedad del espécimen cambie.

## **8. Cálculos y análisis de resultados**

Los resultados de la trasmisión al vapor de agua puede ser calculado de forma gráfica o numérica

8.1 Análisis grafico: graficar el tiempo vs tiempo para ello se requiere análisis y numerosos puntos para mejores resultados cuando el gráfico se ajuste a la línea recta, y la pendiente de la línea recta es el índice de transmisión del vapor de agua.

8.2 Análisis matemático: se utiliza regresión de mínimos cuadrados de los pesos en función del tiempo dará el índice de transmisión del vapor de agua

### 8.3 Cálculo del índice de transferencia al vapor de agua

$$WVT = dm / dt \times 1/A$$

En donde:

WVT = índice de transferencia al vapor de agua o coeficiente de transmisión de vapor de agua.

$dm / dt$  = Flux = diferencia de masa a través del tiempo.

A = área de la película expuesta.

### 8.4 Cálculo permeanza

$$\text{Permeanza} = WVT / (P_{A2} - P_{A1}) = WVT / S(R_1 - R_2)$$

En donde:

$P_{A2}$  = presión sobre la película, kPa.

$P_{A1}$  = presión a la cual esta sujeta la película al interior del tubo, kPa.

S = presión de vapor de saturación a la temperatura experimental, kPa.

$R_1$  = humedad relativa de la cámara, en fracción.

$R_2$  = humedad relativa interna del tubo de prueba, en fracción.

$$P_{A1} = P_{A0} + [WVTR \times R \times T \times (Z / D)]$$

En donde:

$P_{A0}$  = presión que se ejerce en la superficie del desecante como resultado de la temperatura y humedad de la misma.

$R$  = constante universal de los gases.

$T$  = temperatura experimental, K.

$Z = \Delta Z$  altura de aire estancado entre la película y el desecante.

$D$  = difusividad a la  $T$  experimental, m/s.

#### 8.5 Cálculo permeabilidad al vapor de agua

$$WVP = \text{Permeanza} \times \text{grosor}$$

En donde:

WVP = permeabilidad al vapor de agua, g mm / h m<sup>2</sup> kPa.

**ANEXO N° 3**  
**PREPARACION DE REACTIVOS**

- Hidróxido de sódio 0.1 N VS

Procedimiento:

1. Pesar 4 g de hidróxido de sodio en balanza semianalítica.
2. Haciendo uso de un vaso de precipitados plástico, incorporar las perlas de hidróxido de sodio hasta disolver.
3. Trasladar a un balón volumétrico de 1000.0 mL y aforar con agua libre de dióxido de carbono.
4. Estandarizar utilizando como titulante la solución de hidróxido de sodio preparada (realizar por triplicado).
  - Pesar 0.1 g de biftalato de potasio previamente secado a 120°C por 2 horas.
  - Incorporar a un erlenmeyer de 125 mL y disolver con 10 mL de agua libre de CO<sub>2</sub>.
  - Agregar 2 gotas de fenolftaleína.
  - Valorar hasta cambio de color (rosado) permanente. Calcular la normalidad mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{g \text{ patron primario}}{V * meq \text{ patron primario}}$$

Donde:

N = normalidad.

g patrón primario = gramos de patrón primario.

V = volumen gastado de titulante.

Meq patrón primario = miliequivalentes de patrón primario, 0.20423 meq.

$$FC = \frac{N \text{ real}}{N \text{ teórica}}$$

Donde:

FC = factor de corrección.

N real = normalidad real.

N teórica = normalidad teórica.

## 5. Envasar y etiquetar

Tabla N° 22 Resultados de estandarización

| N° de muestra | Peso biftalato | Volumen gastado | Normalidad real |
|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1             | 0,104          | 4,6             | 0,11039         |
| 2             | 0,103          | 4,6             | 0,11029         |
| 3             | 0,100          | 4,4             | 0,11020         |

Ejemplo de cálculo

$$N = \frac{0.104g}{4.6mL * 0.20423meq} \Rightarrow N = 0.11039$$

$$\bar{N} = N_1 + N_2 + N_3 \Rightarrow \bar{N} = 0.11039 + 0.11029 + 0.11020$$

$$\bar{N} = 0.1102933$$

$$FC = \frac{N \text{ real}}{N \text{ teórica}} \Rightarrow FC = \frac{0.1102933}{0.1} \Rightarrow FC = 1.102933$$

- Hidróxido de sodio 25% P/P

Procedimiento:

Solución A

1. Pesar 62.5 g de NaOH.
2. Haciendo uso de un vaso de precipitados plástico, incorporar las perlas de hidróxido de sodio hasta disolver.
3. Trasladar a un balón volumétrico de 250.0 mL y aforar con agua desmineralizada.

Solución B

1. Pesar 12.5 g de NaOH.
2. Haciendo uso de un vaso de precipitados plástico, incorporar las perlas de hidróxido de sodio hasta disolver.
3. Trasladar a un balón volumétrico de 50.0 mL y aforar con agua desmineralizada.

Solución C

1. En un frasco plástico mezclar solución A y B.
2. Homogenizar.
3. Rotular y almacenar.

- Fenolftaleína TS<sub>(58)</sub>

Procedimiento:

1. Pesar 0.25 g de fenolftaleína.
2. Disolver en 100.0 mL de alcohol etílico.
3. Envasar y etiquetar.

- Ácido clorhídrico 0.3 M

Procedimiento:

1. Medir 50 mL de agua desmineralizada y adicionarlos a un balón volumétrico de 100.0 mL.
2. Medir 2.5 mL de HCl al 37% P/P y adicionarlos al balón.
3. Homogenizar y aforar con agua desmineralizada.
4. Estandarizar:
  - Disuelva 0.159 g de carbonato de sodio anhidro (secado a 270°C por 1 h) en 15 mL de agua desmineralizada.
  - Adicionar 2 gotas de anaranjado de metilo TS.
  - Valorar con ácido clorhídrico hasta cambio de color (amarillo a rojo pálido).
  - Calcular la molaridad utilizando la siguiente ecuación:

$$M_{real} = \frac{V_{teórico}}{V_{real}} * M_{teórica}$$

Donde:

M real = molaridad real.

V teórico = volumen de titulante a gastar calculado con la relación (2):

1 mL de HCl 0.3 M es equivalente a 15.9 mg de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

V real = volumen real de titulante gastado durante la valoración

M teórico = molaridad teórica

$$FC = \frac{M \text{ real}}{M \text{ teórica}}$$

Donde:

FC = factor de corrección

M real = molaridad real

M teórica = molaridad teórica

## 5. Envasar y etiquetar.

Tabla N° 23 resultados de la estandarización del ácido clorhídrico 0.3M

| N° de muestra | Peso Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Volumen gastado | molaridad real |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|
| 1             | 0,158                                | 9,8             | 0,3061         |
| 2             | 0,160                                | 10,1            | 0,2970         |
| 3             | 0,160                                | 10,1            | 0,2970         |

$$M \text{ real} = \frac{V \text{ teórico}}{V \text{ real}} * M \text{ teórica} \Rightarrow M \text{ real} = \frac{10}{9.8} * 0.3M$$

$$M \text{ real} = 0.3061M$$

$$\overline{M}_{real} = \frac{0.3061 + 0.2970 + 0.2970}{3} = 0.3M$$

$$FC = \frac{M_{real}}{M_{teórica}} \Rightarrow FC = \frac{0.3000}{0.3} \Rightarrow FC = 1.0$$

- Anaranjado de metilo TS

Procedimiento:

1. Colocar 5 mL de agua desmineralizada en un balón volumétrico de 10.0 mL.
2. Adicionar 10 mg de anaranjado de metilo al balón.
3. Agitar hasta disolución.
4. Aforar con agua desmineralizada.
5. Envasar y etiquetar.

- Ácido acético al 2% v/v

Procedimiento:

Solución A

1. Colocar 500 mL de agua desmineralizada en un balón volumétrico de 1.0 L.
2. Medir 21 mL de ácido acético glacial, adicionarlo al balón volumétrico y homogenizar.

3. Aforar con agua desmineralizada.
4. Almacenar.

#### Solución B

1. Colocar 250 mL de agua desmineralizada en un balón volumétrico de 500.0 mL.
2. Medir 10.5 mL de ácido acético glacial, adicionarlo al balón y homogenizar.
3. Aforar con agua desmineralizada.
4. Almacenar.

#### Solución C

1. Mezclar solución A y B.
2. Rotular, etiquetar y almacenar en un frasco de vidrio de 2 L.

- Ácido acético al 1%

#### Procedimiento:

1. Colocar 1000 mL de agua desmineralizada en un balón volumétrico de 2.0 L.
2. Medir 21 mL de ácido acético glacial, adicionarlo al balón volumétrico y homogenizar.
3. Aforar con agua desmineralizada.
4. Rotular, etiquetar y almacenar en un frasco de vidrio de 2 L.

**ANEXO N° 4**  
**ESQUEMA DE OBTENCIÓN DEL QUITOSANO A PARTIR DE QUITINA**

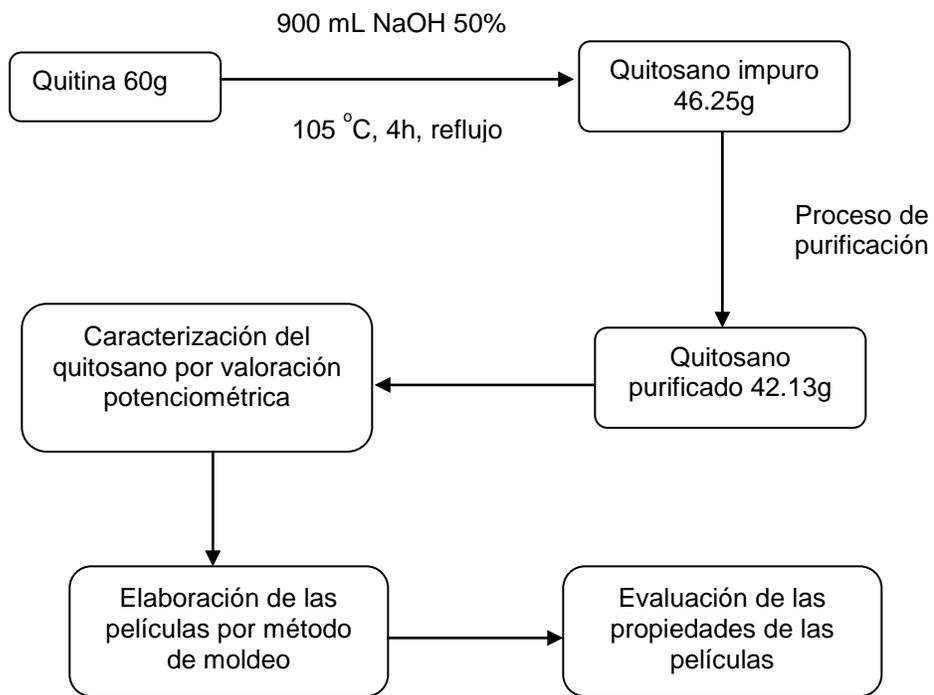


Figura N° 16 Esquema de obtención de quitosano a partir de quitina y desarrollo de la parte experimental.

**ANEXO N° 5**  
**INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA VALORACIÓN**  
**POTENCIOMÉTRICA**

Tabla N° 24 Recolección de datos para valoración potenciométrica

| <b>Volumen (mL)</b> | <b>pH</b> | <b>Volumen (mL)</b> | <b>pH</b> |
|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| 0                   |           | 26                  |           |
| 1                   |           | 27                  |           |
| 2                   |           | 28                  |           |
| 3                   |           | 29                  |           |
| 4                   |           | 30                  |           |
| 5                   |           | 31                  |           |
| 6                   |           | 32                  |           |
| 7                   |           | 33                  |           |
| 8                   |           | 34                  |           |
| 9                   |           | 35                  |           |
| 10                  |           | 36                  |           |
| 11                  |           | 37                  |           |
| 12                  |           | 38                  |           |
| 13                  |           | 39                  |           |
| 14                  |           | 40                  |           |
| 15                  |           | 41                  |           |
| 16                  |           | 42                  |           |
| 17                  |           | 43                  |           |
| 18                  |           | 44                  |           |
| 19                  |           | 45                  |           |
| 20                  |           | 46                  |           |
| 21                  |           | 47                  |           |
| 22                  |           | 48                  |           |
| 23                  |           | 49                  |           |
| 24                  |           | 50                  |           |
| 25                  |           |                     |           |

**ANEXO N° 6**  
**ESQUEMA DE DESARROLLO DE LAS PELÍCULAS**

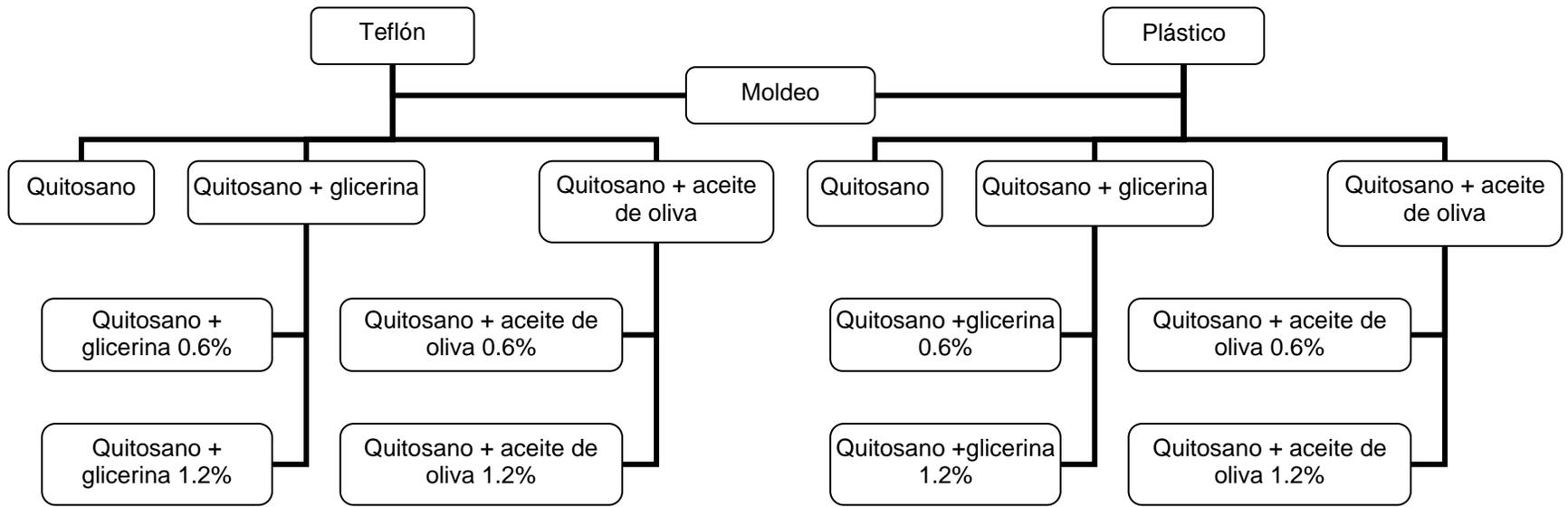


Figura N° 17 Esquema de desarrollo de las películas

**ANEXO N° 7**  
**CODIFICACIÓN DE LAS PELÍCULAS**

Tabla N° 25 Códigos que corresponden a cada película

| Base         | Composición de la película de quitosano |               | N° de película | Código      |
|--------------|---|---------------|----------------|-------------|
|              | plastificante                           | Concentración |                |             |
| Poliestireno | Ninguno                                 | -----         | 1              | 1/MPQ       |
| Poliestireno | Ninguno                                 | -----         | 2              | 2/MPQ       |
| Poliestireno | Ninguno                                 | -----         | 3              | 3/MPQ       |
| Poliestireno | Glicerina                               | 0,6           | 4              | 1/MPQG/0.6  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 0,6           | 5              | 2/MPQG/0.6  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 0,6           | 6              | 3/MPQG/0.6  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 1,2           | 7              | 1/MPQG/1.2  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 1,2           | 8              | 2/MPQG/1.2  |
| Poliestireno | Glicerina                               | 1,2           | 9              | 3/MPQG/1.2  |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 0,6           | 10             | 1/MPQAO/0.6 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 0,6           | 11             | 2/MPQAO/0.6 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 0,6           | 12             | 3/MPQAO/0.6 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 1,2           | 13             | 1/MPQAO/1.2 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 1,2           | 14             | 2/MPQAO/1.2 |
| Poliestireno | Aceite de oliva                         | 1,2           | 15             | 3/MPQAO/1.2 |
| Teflón       | Ninguno                                 | -----         | 16             | 1/MTQ       |
| Teflón       | Ninguno                                 | -----         | 17             | 2/MTQ       |
| Teflón       | Ninguno                                 | -----         | 18             | 3/MTQ       |
| Teflón       | Glicerina                               | 0,6           | 19             | 1/MTQG/0.6  |
| Teflón       | Glicerina                               | 0,6           | 20             | 2/MTQG/0.6  |
| Teflón       | Glicerina                               | 0,6           | 21             | 3/MTQG/0.6  |
| Teflón       | Glicerina                               | 1,2           | 22             | 1/MTQG/1.2  |
| Teflón       | Glicerina                               | 1,2           | 23             | 2/MTQG/1.2  |
| Teflón       | Glicerina                               | 1,2           | 24             | 3/MTQG/1.2  |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 0,6           | 25             | 1/MTQAO/0.6 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 0,6           | 26             | 2/MTQAO/0.6 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 0,6           | 27             | 3/MTQAO/0.6 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 1,2           | 28             | 1/MTQAO/1.2 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 1,2           | 29             | 2/MTQAO/1.2 |
| Teflón       | Aceite de oliva                         | 1,2           | 30             | 3/MTQAO/1.2 |

**ANEXO N° 8**  
**INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS DE**  
**GROSOR**

Tabla N° 26 Recolección de datos de grosor

| Código de película | Puntos de medición por película (mm) |    |    |    |    |
|--------------------|--------------------------------------|----|----|----|----|
|                    | 1°                                   | 2° | 3° | 4° | 5° |
| 1/MPQ              |                                      |    |    |    |    |
| 2/MPQ              |                                      |    |    |    |    |
| 3/MPQ              |                                      |    |    |    |    |
| 1/MPQG/0.6         |                                      |    |    |    |    |
| 2/MPQG/0.6         |                                      |    |    |    |    |
| 3/MPQG/0.6         |                                      |    |    |    |    |
| 1/MPQG/1.2         |                                      |    |    |    |    |
| 2/MPQG/1.2         |                                      |    |    |    |    |
| 3/MPQG/1.2         |                                      |    |    |    |    |
| 1/MPQAO/0.6        |                                      |    |    |    |    |
| 2/MPQAO/0.6        |                                      |    |    |    |    |
| 3/MPQAO/0.6        |                                      |    |    |    |    |
| 1/MPQAO/1.2        |                                      |    |    |    |    |
| 2/MPQAO/1.2        |                                      |    |    |    |    |
| 3/MPQAO/1.2        |                                      |    |    |    |    |
| 1/MTQ              |                                      |    |    |    |    |
| 2/MTQ              |                                      |    |    |    |    |
| 3/MTQ              |                                      |    |    |    |    |
| 1/MTQG/0.6         |                                      |    |    |    |    |
| 2/MTQG/0.6         |                                      |    |    |    |    |
| 3/MTQG/0.6         |                                      |    |    |    |    |
| 1/MTQG/1.2         |                                      |    |    |    |    |
| 2/MTQG/1.2         |                                      |    |    |    |    |
| 3/MTQG/1.2         |                                      |    |    |    |    |
| 1/MTQAO/0.6        |                                      |    |    |    |    |
| 2/MTQAO/0.6        |                                      |    |    |    |    |
| 3/MTQAO/0.6        |                                      |    |    |    |    |
| 1/MTQAO/1.2        |                                      |    |    |    |    |
| 2/MTQAO/1.2        |                                      |    |    |    |    |
| 3/MTQAO/1.2        |                                      |    |    |    |    |

**ANEXO N° 9**  
**INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE INFORMACION**  
**SOLUBILIDADES**

Tabla N° 27 Recolección de información solubilidades

| Código de película | DISOLVENTES          |                  |         |         |          |          |
|--------------------|----------------------|------------------|---------|---------|----------|----------|
|                    | Agua desmineralizada | Ácido acético 1% | HCl 1 N | HCl 10% | NaOH 25% | NaOH 10% |
| MPQ                |                      |                  |         |         |          |          |
| MPQG/0.6           |                      |                  |         |         |          |          |
| MPQG/1.2           |                      |                  |         |         |          |          |
| MPQAO/0.6          |                      |                  |         |         |          |          |
| MPQAO/1.2          |                      |                  |         |         |          |          |
| MTQ                |                      |                  |         |         |          |          |
| MTQG/0.6           |                      |                  |         |         |          |          |
| MTQG/1.2           |                      |                  |         |         |          |          |
| MTQAO/0.6          |                      |                  |         |         |          |          |
| MTQAO/1.2          |                      |                  |         |         |          |          |

**ANEXO N° 10**  
**INSTRUMENTO RECOLECCION DE DATOS**  
**ELONGACION**

Tabla N° 28 Recolección de datos elongación

| Código de película | Resultados por muestra |            |            |
|--------------------|------------------------|------------|------------|
|                    | Muestra 1°             | Muestra 2° | Muestra 3° |
| MPQ                |                        |            |            |
| MPQG/0.6           |                        |            |            |
| MPQG/1.2           |                        |            |            |
| MPQAO/0.6          |                        |            |            |
| MPQAO/1.2          |                        |            |            |
| MTQ                |                        |            |            |
| MTQG/0.6           |                        |            |            |
| MTQG/1.2           |                        |            |            |
| MTQAO/0.6          |                        |            |            |
| MTQAO/1.2          |                        |            |            |

**ANEXO N° 11**  
**INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**  
**PESOS DE TUBOS**



**ANEXO N° 12**  
**COMPOSICIÓN CÁMARA AMBIENTAL**

### **Cámara ambiental**

La cámara ambiental se compone de un desecador de vidrio que contendrá: un medidor de humedad relativa y temperatura (termohidrómetro fisher scientific modelo 06-66-2-4); la humedad relativa se lograra agregando en el fondo de la cámara 1000 mL de solución salina sobresaturada <sup>(23)</sup> la temperatura se logra colocando la cámara en baño de agua cuando sea necesario.



**Figura N° 18 Cámara ambiental recién ensamblada**

**ANEXO N° 13**  
**ESQUEMA DE ANALISIS DE PELÍCULAS DE QUITOSANO**  
**CLASIFICADO POR NIVELES**

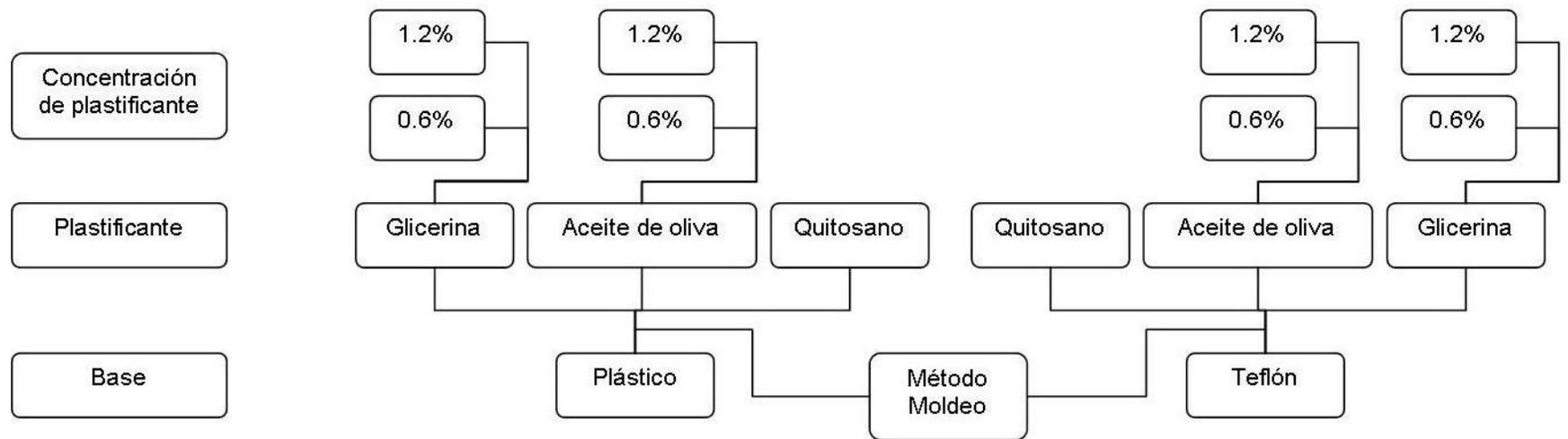


Figura N° 19 Esquema análisis de películas de quitosano clasificado por niveles

**ANEXO N° 14**  
**EJEMPLO DE CALCULO**  
**GRADO DE DESACETILACIÓN**

Cálculo de la primera derivada al adicionar el mL dos de NaOH 0.1N

-  $\Delta\text{pH}$

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_2 - \text{pH}_1$$

Donde:

$\Delta\text{pH}$ : Cambio de pH cada vez que se adiciona 1 ml de NaOH 0.1N

$\text{pH}_2$ : pH después de la adición de la base

$\text{pH}_1$ : pH antes de la adición de la base

$\text{pH}_2$ : 1.34

$\text{pH}_1$ : 1.26

$$\Delta\text{pH} = 1.34 - 1.26 \Rightarrow \Delta\text{pH} = 0.08$$

-  $\Delta V$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

Donde:

$\Delta V$ : Cambio de volumen entre dos adiciones consecutivas

$V_2$ : Volumen después de la adición de NaOH 0.01N

$V_1$ : Volumen antes de la adición de la base

$$\Delta V = 2 - 1 \Rightarrow \Delta V = 1$$

-  $\Delta\text{pH}/\Delta V$

$$\Delta\text{pH}/\Delta V = 0.08/1 \implies \Delta\text{pH}/\Delta V = 0.08$$

Cálculo del grado de desacetilación

- Corrección de los volúmenes

*Volumen corregido = volumen real de punto de inflexión \* FC del NaOH 0.1N*

$$\text{Volumen corregido} = 20.5 * 1.102933 \implies \text{Volumen corregido} = 22.61\text{mL}$$

$$\text{Volumen corregido2} = 33.5 * 1.102933 \implies \text{Volumen corregido2} = 36.95\text{mL}$$

- Aplicación de fórmula

$$\% \text{NH}_2 = [16.1 (y - x) f] / w$$

$$\% \text{NH}_2 = \frac{16.1(36.95 - 22.61)0.1}{0.249} \implies \% \text{NH}_2 = 92.71\%$$

**ANEXO N° 15**  
**RESULTADOS DE ANALISIS DE TEXTURA**  
**REALIZADO POR LA GEO**

|                                    | Laboratorio de Geología                               | Área: GEO   | Número: 36                |   |
|---|---|---|---------------------------|---|
|   | Código: <b>F - GEO-005</b>                            |   | Fecha: Octubre 22 de 2009 |   |
| <b>Resultados del análisis macroscópico de muestras de películas de la facultad de Química y Farmacia de la UES</b> |   |   |                           |   |
| Muestra   | Nombre  | Lado Aire   | Cobertura (%)             | Lado Base   |
| M-1<br>CT034-09   | Película quitosano, base plástico                     | Superficie rugosa, amarillo translúcida, continua hacia los bordes de la película (excepto en dos sectores). Hacia el centro está parcialmente continua.<br>(* Principalmente hacia los bordes.   | 50 *                      | Superficie lisa, sin ningún depósito.   |
| M-2<br>CT035-09   | Película de quitosano + glicerina 0,6%, base plástico | Superficie rugosa diferencial: existen puntos de mayor concentración de material, de color amarillo translúcido, y otros donde hay menos material observándose una película transparente. Existe un área circular descentrada, de mayor densidad de material (película levemente más gruesa). | 95                        | En general se observa una superficie lisa con un pequeño depósito (<1%) hacia el centro de la película. |
| M-3<br>CT036-09   | Película quitosano + glicerina 1,2 %, base plástico   | Superficie rugosa discontinua, formada por material amarillo translúcido depositado principalmente en los bordes.<br>La película presenta múltiples pliegues.<br>(* Principalmente en los bordes  | 40 *                      | Superficie lisa sin depósitos.  |
| M-4<br>CT037-09   | Quitosano + aceite de oliva 0,6 %, base plástico      | Superficie rugosa, plegada, con concentración diferencial del material; hay zonas donde se observa material amarillo translúcido, y otras con una película más delgada translúcida. Pequeñas burbujas y grietas.<br>(* Diferencial, sectores con mayor acumulación de material.               | 100 *                     | Superficie porosa, donde hay mayor concentración de material en la otra cara de la película.            |
| M-5<br>CT038-09   | Quitosano + aceite de oliva 1,2%, base plástico       | Superficie rugosa plegada, color amarillo translúcido, con pequeñas burbujas distribuidas en toda su superficie.  | 100                       | Superficie lisa, no se observan depósitos.  |
| M-6<br>CT039-09   | Película quitosano , base teflón                      | Superficie rugosa, plegada, con material amarillo translúcido, distribuido en forma homogénea, en general. Hacia los bordes se observa material amarillo más intenso, con mayor densidad de material. Escasas burbujas (<1%)  | 100                       | Superficie porosa sin depositación de material.   |

Figura N° 20 Resultado del análisis macroscópico de las películas de quitosano realizado por los laboratorios de análisis de la GEO

| <b>Resultados del análisis macroscópico de muestras de películas de la facultad de Química y Farmacia de la UES</b> |   |   |                      |   |
|---|---|---|----------------------|---|
| <b>Muestra</b>  | <b>Nombre</b>   | <b>Lado Aire</b>  | <b>Cobertura (%)</b> | <b>Lado Base</b>                                |
| M-7<br>CT040-09   | Película quitosano + glicerina 0.6 %, base teflón       | Superficie rugosa, plegada, con material amarillo traslúcido (mayor concentración de material) y traslúcido, distribuidos diferencialmente. Hacia el centro de la película se observa una banda diametral con diferencias en el brillo del material y la densidad de depositación, a cada lado de la banda. | 100                  | Superficie porosa sin depositación alguna       |
| M-8<br>CT041-09   | Película quitosano + glicerina 12%, base teflón         | Superficie rugosa, plegada, amarillo traslúcido, con sectores transparentes o traslúcidos (levemente diferencial).  | 100                  | Superficie porosa sin depositación de material. |
| M-9<br>CT042-09   | Película quitosano + aceite de oliva, base teflón       | Superficie rugosa amarillo traslúcido, uniforme, con escasas burbujas pequeñas (1%). Hacia el centro, en dos sectores se observa un material transparente y brillante (aceite?)   | 100                  | Superficie porosa sin depósitos.                |
| M-10<br>CT043-09  | Película quitosano + aceite de oliva 1,2 %, base teflón | Superficie rugosa, plegada, amarillo traslúcido, de distribución uniforme. Pequeñas burbujas distribuidas en toda la superficie.  | 100                  | Superficie porosa, sin depósitos.               |

Analizado por: Claudia E. Mejía de Molina  
Geóloga



Revisado por: Arturo Quezada Muñoz  
Coordinador Área de Geología




Fecha: Octubre 23 de 2009

Figura N° 20 Continuación...

## FOTOGRAFÍAS

A continuación se presentan las fotografías tomadas al material presente en la película. Las fotos del centro y borde de la película, corresponden a la vista del lado AIRE, tomadas a través de los objetivos de la lupa con aumento de 10x.

### M-1 PELÍCULA QUITOSANO, BASE PLÁSTICO

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



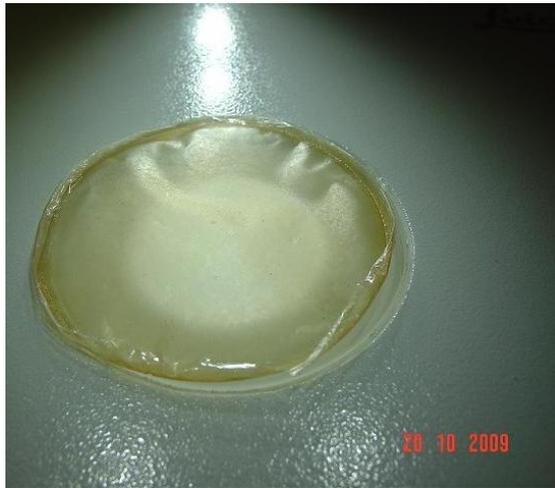
BORDE DE LA PELÍCULA



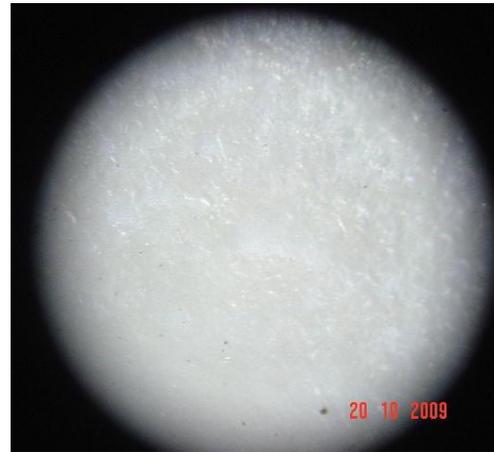
Figura N° 21 Fotografías de la superficie de la película tomadas en el laboratorio de La GEO.

M-2 PELÍCULA QUITOSANO + GLICERINA 0.6 %, BASE PLÁSTICO

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA

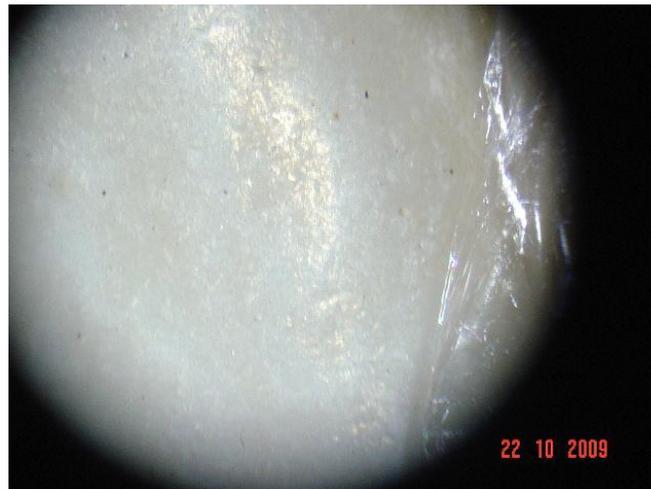
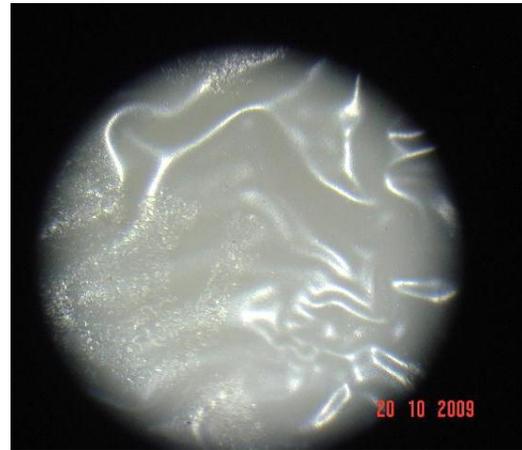


Figura N° 21 Continuación...

M-3 PELÍCULA QUITOSANO + GLICERINA 12 %, BASE PLÁSTICO

VISTA GENERAL

CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA



Figura N° 21 Continuación...

M-4 PELÍCULA QUITOSANO + ACEITE DE OLIVA 0.6 %, BASE PLÁSTICO

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA



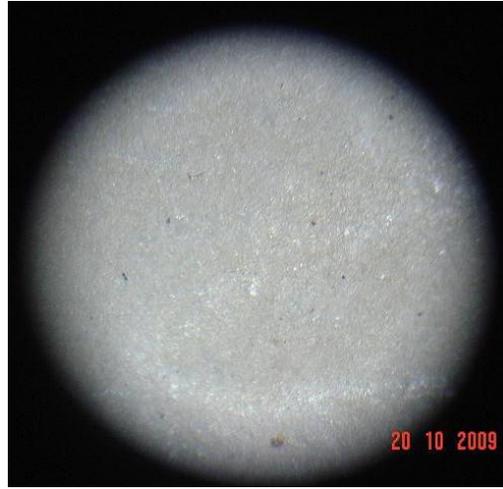
Figura N° 21 Continuación...

M-5 PELÍCULA QUITOSANO + ACEITE DE OLIVA 1.2 %, BASE PLÁSTICO

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA



Figura N° 21 Continuación...

M-6 PELÍCULA QUITOSANO EN BASE TEFLÓN

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



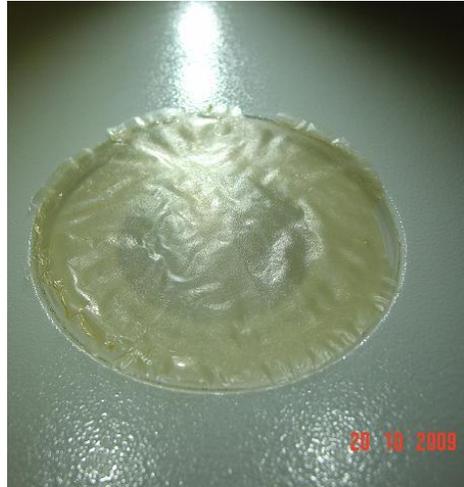
BORDE DE LA PELÍCULA



Figura N° 21 Continuación...

M-7 PELÍCULA QUITOSANO + GLICERINA 0.6 %, BASE TEFLÓN

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA



Figura N° 21 Continuación...

M-8 PELÍCULA QUITOSANO + GLICERINA 12 %, BASE TEFLÓN

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA

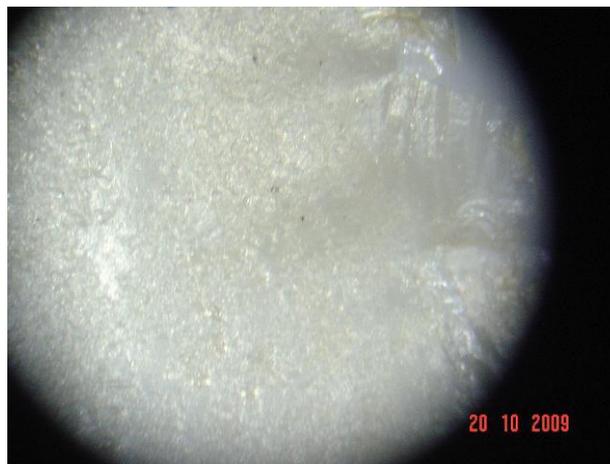


Figura N° 21 Continuación...

M-9 PELÍCULA QUITOSANO + ACEITE DE OLIVA, BASE TEFLÓN

N VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA



Figura N° 21 Continuación...

M-10 PELÍCULA QUITOSANO + ACEITE DE OLIVA 1,2 %, BASE TEFLÓN

VISTA GENERAL



CENTRO DE LA PELÍCULA



BORDE DE LA PELÍCULA

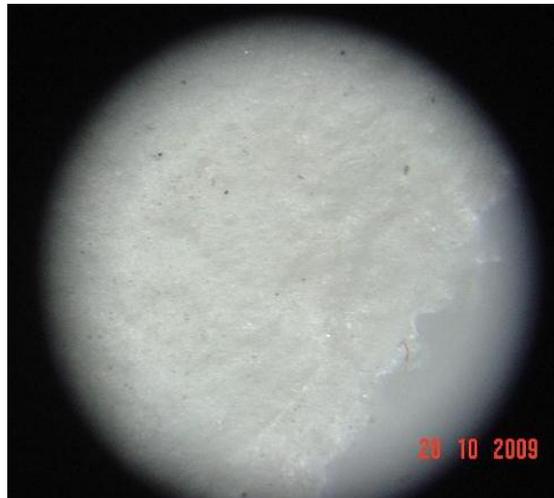


Figura N° 21 Continuación...

**ANEXO N° 16**  
**CALCULOS MEDICIÓN DE ELONGACION**

Área transversal inicial del film

$$A_R = \varepsilon * A$$

$$A_R = 0.1mm * 127mm \Rightarrow A_R = 13.194mm^2$$

Esfuerzo de tracción en el corte

$$ETC = C_{MAX}/A_R$$

$$ETC = \frac{3.33N}{13.194mm^2} \Rightarrow ETC = 0.253N / mm^2$$

**ANEXO N° 17**  
**CALCULOS DE PERMEABILIDAD**

Ejemplo de cálculo tubo N° 1 película 1/MPQ

- Aumento =  $p_n - p_i$

$P_n$  = peso del tubo N° 1 una hora después de iniciado el ensayo

$$\text{Aumento}_o = 7.516\text{g} - 7.514\text{g} \Rightarrow \text{Aumento}_o = 0.002\text{g}$$

- Aumento corregido

Aumento corregido =  $\text{Aumento}_n - \text{aumento control}_n$

$$\text{Aumento corregido} = 0.002\text{g} - 0.001\text{g} \Rightarrow \text{Aumento corregido} = 0.001\text{g}$$

- Índice de transferencia al vapor de agua

$$WVT = dm / dt \times 1/A$$

$$WVT = \frac{1.181E-03\text{g} / \text{h}}{8.171E-05\text{m}^2} \Rightarrow WVT = 14.454\text{g} / \text{hm}^2$$

- Permeanza

$$\text{Permeanza} = WVT / S(R_1 - R_2)$$

$$\text{Permeanza} = \frac{14.454\text{g} / \text{hm}^2}{4759\text{Pa}(0.75 - 0)} \Rightarrow \text{Permeanza} = 0.0040495\text{g} / \text{hPaM}^2$$

- Permeabilidad al vapor de agua

$$WVP = \text{Permeanza} \times \text{grosor}$$

$$WVP = 0.0040495\text{g} / \text{hPaM}^2 * 0.104 \Rightarrow WVP = 0.004201\text{gmm} / \text{hPaM}^2$$

**ANEXO N°18**  
**EJEMPLO DE GRÁFICO Y REGRESIÓN LINEAL**

Tubo N° 1 película 1/MPQ

Análisis de Regresión - Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$

Coefficiente de Correlación = 0,991128

R-cuadrado = 98,2334 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,1881 porcentaje.

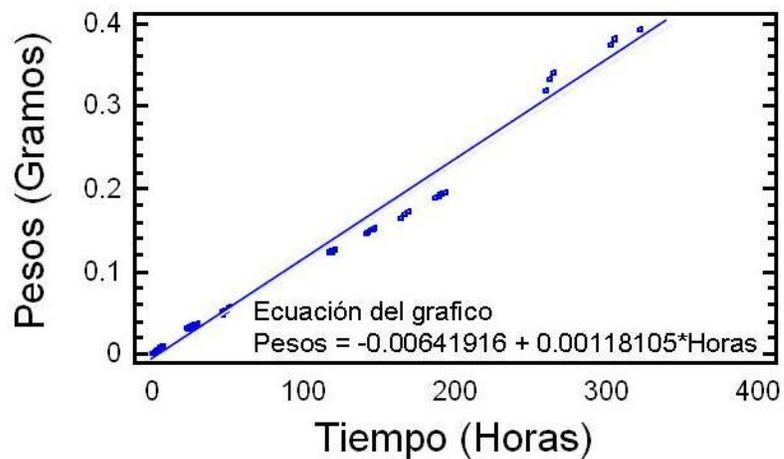


Figura N° 22 Gráfico regresión lineal para muestra N° 1 película moldeada en poliestireno sin plastificante (1/MPQ)

En la Figura N° 19 se representa la nube de puntos de los pesos vs tiempo para la película N° 1 moldeada en poliestireno sin plastificante y la recta de regresión estimada (línea azul).

Tabla N° 30 Comparación de modelos alternativos

| Modelo          | Correlación | R-cuadrado |
|-----------------|-------------|------------|
| Lineal          | 0,9911      | 98,23%     |
| Raíz cuadrada-Y | 0,9789      | 95,83%     |
| Raíz cuadrada-X | 0,9404      | 88,44%     |

**ANEXO N° 19**  
**FOTOGRAFIAS**



Figura N° 23 Quitina



Figura N° 24 Quitina después del proceso de reflujo con NaOH al 50%

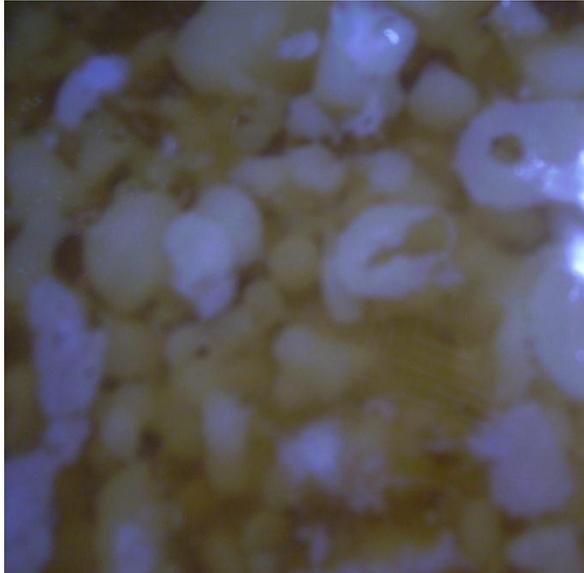


Figura N° 25 Quitosano después de la precipitación con NaOH al 25% durante el proceso de purificación



Figura N° 26 Quitosano durante el lavado y llevado a pH neutro



Figura N° 27 Película de quitosano + aceite de oliva 1.2% base poliestireno durante el proceso de moldeo



Figura N° 28 Película de quitosano + glicerina 1.2% base teflón durante el proceso de moldeo



Figura N° 29 Fase de desmolde película de quitosano



Figura N° 30 Película de quitosano después del desmolde de la base poliestireno



Figura N° 31 Micrómetro analógico Teclock modelo SM-112

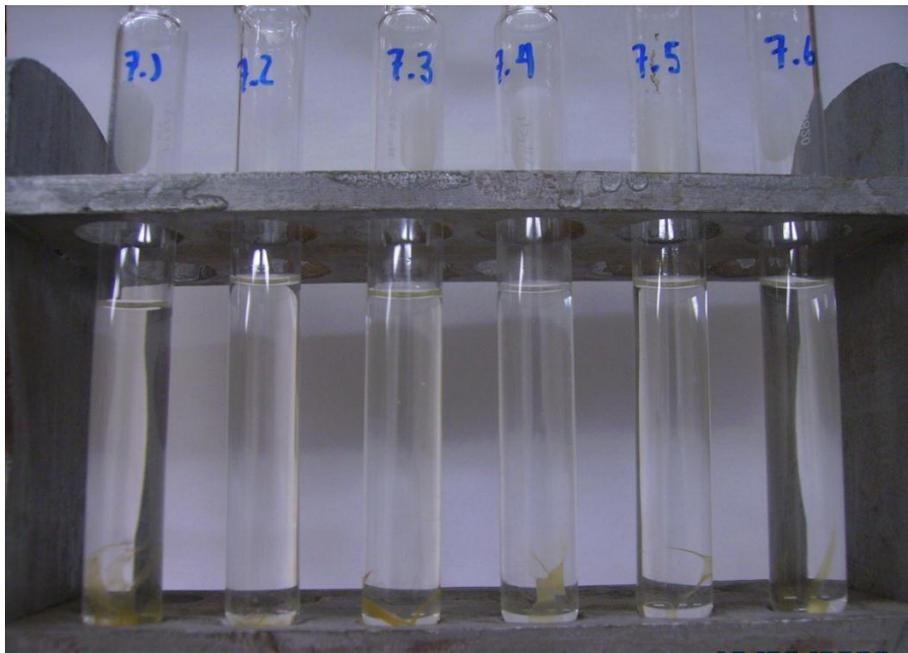


Figura N° 32 Ensayo de solubilidad película quitosano + glicerina 0.6% base teflón

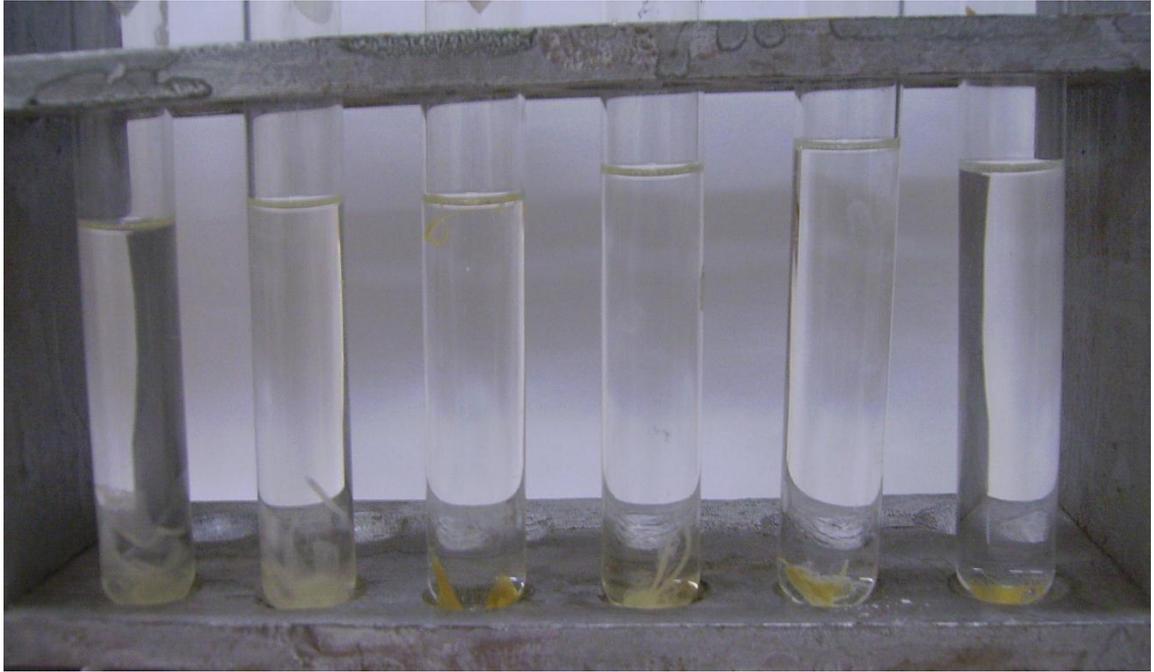


Figura N° 33 Ensayo de solubilidad película quitosano + aceite de oliva 0.6% base poliestireno

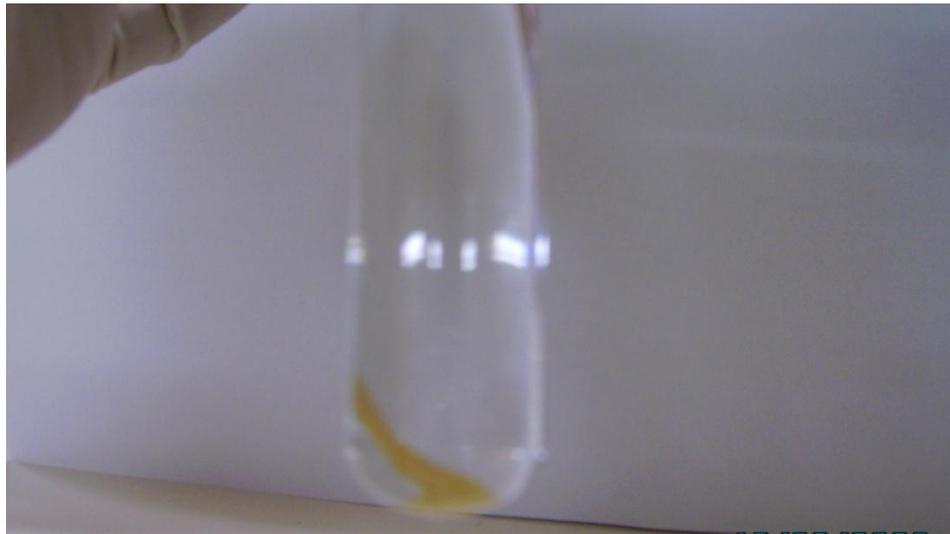


Figura N° 34 Ensayo de solubilidad película de quitosano + glicerina 1.2% en HCL 1N



Figura N° 35 Equipo tipo HT-9102, marca HUNG-TA utilizado en el ensayo de elongación

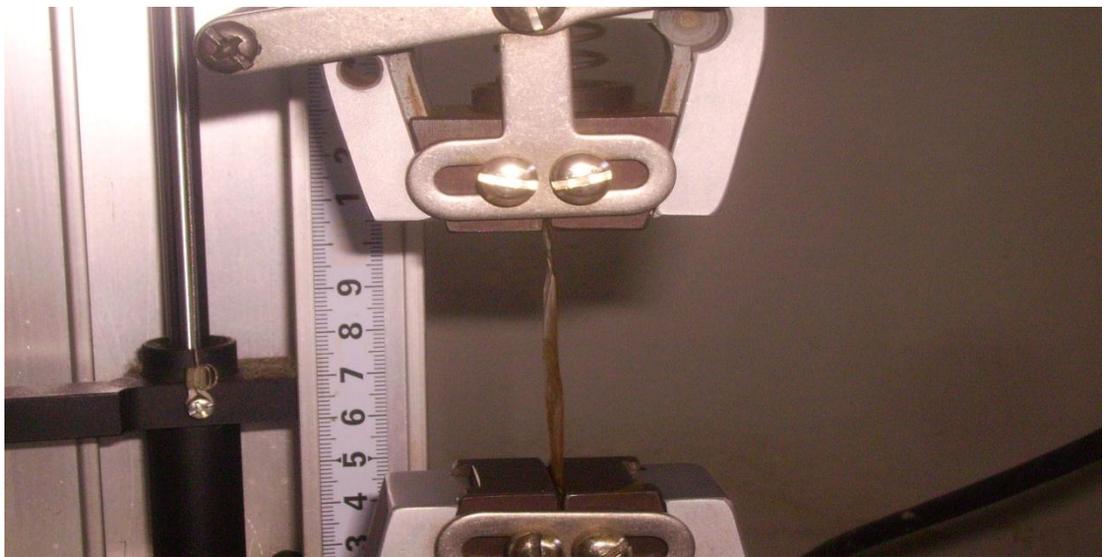


Figura No 36 Medición de la elongación película de quitosano + aceite de oliva 1.2% base poliestireno

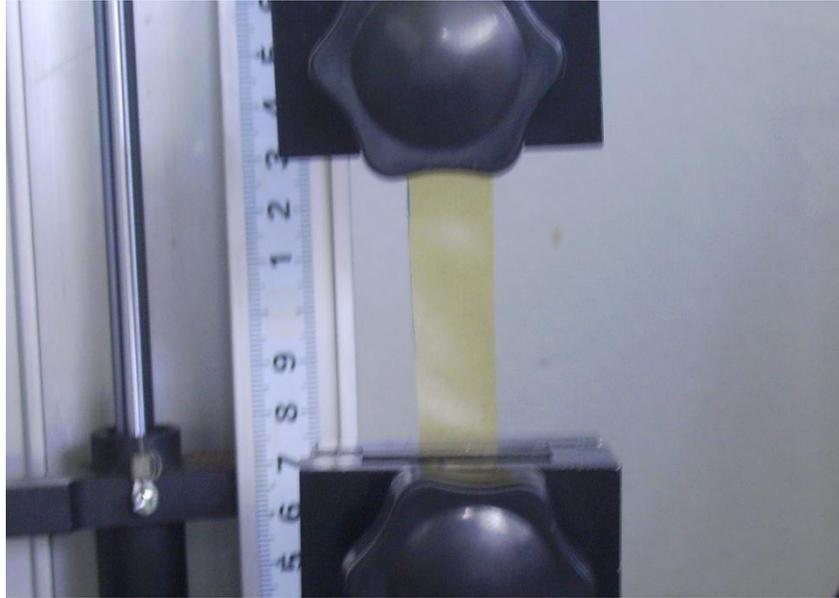


Figura N° 37 Película de quitosano + glicerina 0.6% base poliestireno antes del ensayo de elongación

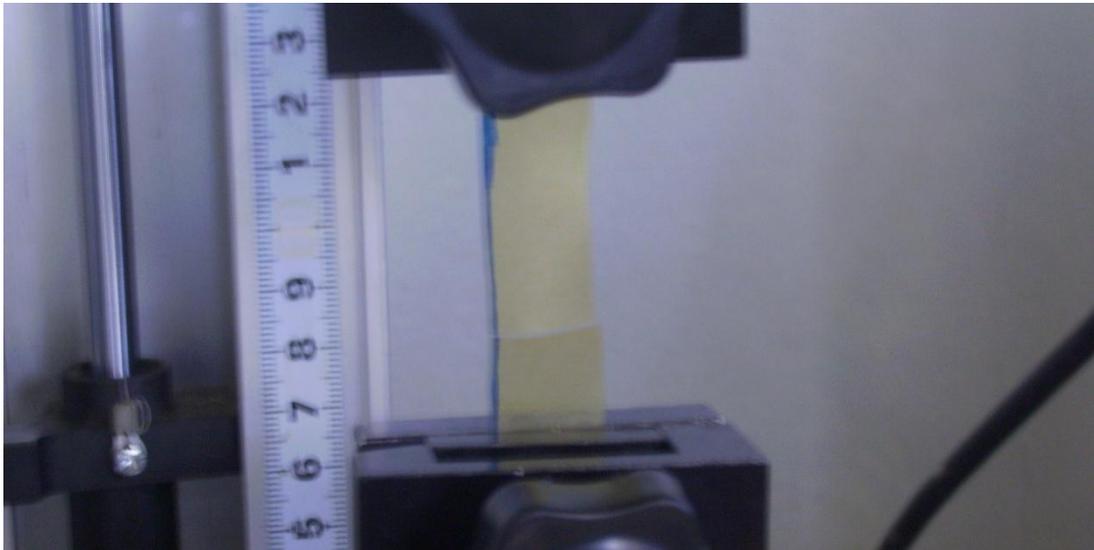


Figura N° 38 Película de quitosano + glicerina 0.6% base poliestireno después del ensayo de elongación

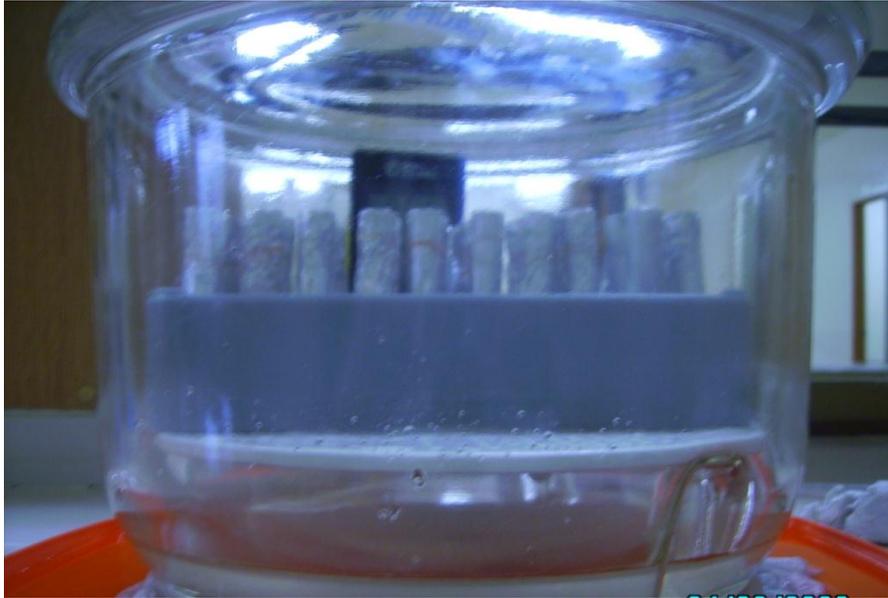


Figura N° 39 Tubos en la cámara ambiental durante el ensayo de permeabilidad

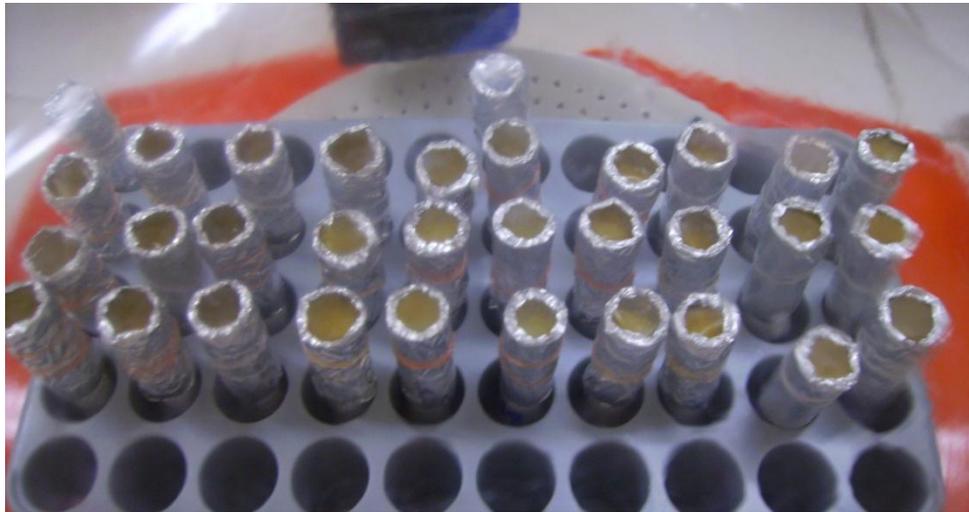


Figura N° 40 Tubos en la cámara ambiental durante el ensayo de permeabilidad

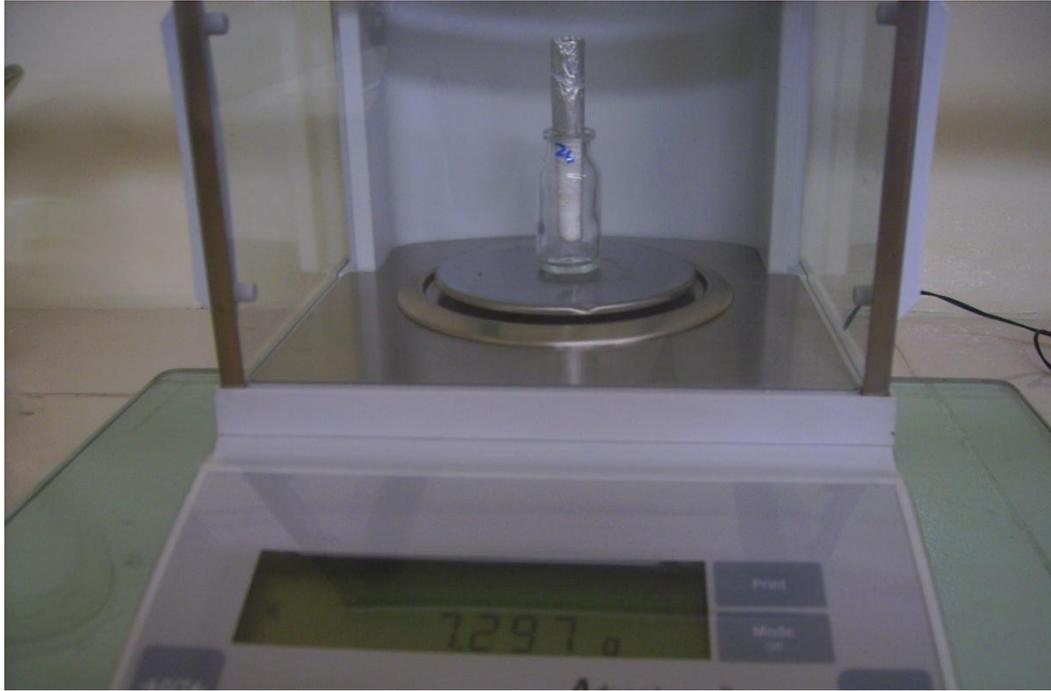


Figura N° 41 Pesada del tubo N° 26 que corresponde a la película quitosano + aceite de oliva 0.6% muestra N° 2 durante el ensayo de permeabilidad.