



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DE LOS  
ALIMENTOS.**

**TESIS**

**EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGOS DE  
LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y SU APLICACIÓN EN FRESA ENTERA.**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE LOS ALIMENTOS**

**Presenta:**

**Q.A. LINDA CAROLINA HERNÁNDEZ LOZANO**

**COMITÉ TUTORAL**

**DRA. LAURA PÉREZ CABRERA (TUTOR)**

**DR. ALBERTO TECANTE CORONEL**

**M.C. MA. MAGDALENA RAMÍREZ GÓMEZ**

**JESÚS MARÍA. AGS., MAYO DEL 2011**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES  
CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

POSGRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE  
LOS ALIMENTOS

**TESIS**

**"EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGOS DE  
LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y SU APLICACIÓN EN FRESA ENTERA."**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE LOS ALIMENTOS**

**Presenta:**

**Q.A. LINDA CAROLINA HERNÁNDEZ LOZANO**

*"El presente documento fue revisado, presentado, defendido y aprobado en el examen de  
grado correspondiente"*

---

**Dra. Laura Pérez Cabrera**

---

**Dr. Alberto Tecante Coronel**

---

**M.C. Ma. Magdalena Ramírez Gómez**

**JESÚS MARÍA. AGS., MAYO DEL 2011**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES  
Commemoración del Bicentenario del inicio de la Independencia de México  
y del Centenario de la Revolución Mexicana

OF. NO. CCA-D-111500-156-11

LIC. FRANCISCO JAVIER AVELAR GONZÁLEZ  
SECRETARIO GENERAL DE LA U.A.A.  
P R E S E N T E .

AT'N: C.P. MARIA ESTHER RANGEL JIMÉNEZ  
JEFA DEL DEPTO. DE CONTROL ESCOLAR

Por medio de la presente me permito informarle a Usted, que el C. LINDA CAROLINA HERNANDEZ, alumna del Programa del Posgrado en Ciencia y Tecnología Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos en nivel maestría, ha cumplido de manera satisfactoria los requisitos académicos del programa y ha recibido la aprobación explícita de su tesis titulada **“EVALUACION DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGOS DE LINAZA (Linum usitatissimum L.) Y SU APLICACION EN FRESA ENTERA.**

Lo anterior es a fin de que la C. Linda Carolina Hernández pueda proseguir en los trámites correspondientes pertinentes a la obtención del grado académico respectivo.

Agradeciendo de antemano su atención al presente, me despido de usted, enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Jesús María, Ags., 26 de Mayo de 2011.

“SE LUMEN PROFERRE”

M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN  
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

c.c.p. Control Escolar  
c.c.p. Secretario de Investigación y Posgrado  
c.c.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES  
Comemoración del Bicentenario del inicio de la Independencia de México  
y del Centenario de la Revolución Mexicana

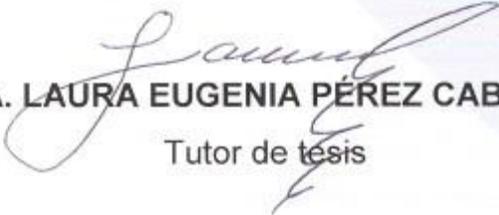
**MenC. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN**  
**DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
***PRESENTE,***

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **LINDA CAROLINA HERNANDEZ** con ID **114165** quien realizó la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGOS DE LINAZA (*Linum usitatissimum L.*) Y SU APLICACIÓN EN FRESA ENTERA**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

***ATE NTAMENTE,***  
***“Se Lumen Proferre”***

Jesús María, Ags., a 25 de Mayo de 2011

  
**DRA. LAURA EUGENIA PÉREZ CABRERA**

Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado  
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Tecnología de Alimentos  
c.c.p.- Consejero Académico  
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

**M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN**  
**DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**P R E S E N T E.**

Por este medio manifiesto a usted que **LINDA CAROLINA HERNANDEZ LOZANO**, alumno del Programa del Posgrado en Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos en nivel maestría, ha cumplido de manera satisfactoria el proceso de escritura de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGOS DE LINAZA (*Linum usitatissimum L.*) Y SU APLICACIÓN EN FRESA ENTERA.**

Por lo anterior no tengo inconveniente en otorgar mi *voto aprobatorio* para la impresión del documento, para que se proceda a completar el proceso de presentación de examen de grado.

Se extiende la presente en la ciudad de Aguascalientes, a los 26 días del mes de mayo del año dos mil once.

**ATENTAMENTE**



**M. C. MARÍA MAGDALENA RAMIREZ GOMEZ**  
**INTEGRANTE DEL COMITÉ TUTORAL**

**M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN**  
**DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**P R E S E N T E.**

Por este medio manifiesto a usted que **LINDA CAROLINA HERNANDEZ LOZANO**, alumno del Programa del Posgrado en Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos en nivel maestría, ha cumplido de manera satisfactoria el proceso de escritura de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGOS DE LINAZA (*Linum usitatissimum L.*) Y SU APLICACIÓN EN FRESA ENTERA.**

Por lo anterior no tengo inconveniente en otorgar mi *voto aprobatorio* para la impresión del documento, para que se proceda a completar el proceso de presentación de examen de grado.

Se extiende la presente en la ciudad de Aguascalientes, a los 26 días del mes de mayo del año dos mil once.

**A T E N T A M E N T E**



**DR. ALBERTO TECANTE CORONEL**  
**INTEGRANTE DEL COMITÉ TUTORAL**

## DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, por acompañarme en cada uno de los momentos de la vida que he emprendido.

A Juan quien con su apoyo me ha ayudado a encontrar la luz cuando todo parece oscuridad y por estar siempre dispuesto.

A mis padres, por todo lo que me han dado, su apoyo, sus sabios consejos y por estar a mi lado en los momentos más difíciles.

A mis hermanas Ale y Mariana, por escucharme, soportarme y convertirse en mis mejores amigas.

A mi hermosa Romina por contagiarme la alegría de la vida.

A mi familia entera porque creo que en el fondo esto es el inicio...

A ti por ser ahora parte de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por abrirme sus puertas para iniciar el camino de la investigación.

Al Centro de Ciencias Agropecuarias por todo el apoyo recibido en especial para la estancia y para esta tesis.

Al laboratorio de control de calidad de la Posta por el largo tiempo que me acogió para llevar a cabo este trabajo.

Debo un especial reconocimiento a mi tutora Laura por su amistad, por las enseñanzas y conocimientos compartidos y por la confianza que mostró en mí al concederme una beca con la cual fue posible aventúrame en esta travesía.

Un sincero agradecimiento a mi comité tutorial, al Dr. Alberto Tecante por el tiempo que me han dado al venir a Aguascalientes, por recibirme en su laboratorio de la facultad de química y por compartirme sus conocimientos, a Maga por sus sugerencias y consejos.

No puedo olvidar a Araceli de microscopía y Mariana de la facultad de química por apoyarme en este trabajo.

A mis compañeras y amigas con las que compartí, Rosy por tu ayuda incondicional, Yola por tus consejos, Kary por tu apoyo en el laboratorio.

A Liz por su ayuda en el laboratorio durante su verano.

Y finalmente a todos aquellos que de una u otra manera me apoyaron para no desistir en este camino.

## INDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Frutas y hortalizas frescos.....	3
2.2. Alteraciones de frutas y hortalizas frescas.....	4
2.2.1 Alteración de la tasa respiratoria .....	5
2.3 Empaques Activos .....	6
2.4 Recubrimiento comestible.....	7
2.4.1. Recubrimientos comestibles aplicados a frutas y hortalizas.....	9
2.4.2. Componentes de recubrimientos comestibles.....	11
2.4.3. Formación de recubrimientos comestibles.....	14
2.4.4. Aplicación de recubrimientos y filmes comestibles en frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas.....	16
2.4.5. Recubrimientos comestibles a base de mucílagos.....	18
2. HIPÓTESIS.....	21
3. OBJETIVOS.....	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
5.1. Etapa I. Extracción de mucílago de linaza ( <i>Linum usitatissimum L.</i> )	23
5.2. Etapa II. Elaboración de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza .....	25
5.2.1. Evaluación de propiedades reológicas de recubrimientos comestibles.....	25
5.2.2. Evaluación de características mecánicas, transporte de vapor de agua y microestructurales de la película formada por el recubrimiento...	25
5.3 Etapa III. Aplicación y evaluación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza y chía en frutos enteros y cortados.....	27
5.3.1. Evaluación de la materia prima.....	28
5.3.2. Determinación del tiempo de inmersión.....	30

5.3.3. Efecto del procesado mínimo de fresas en la Tasa de respiración	30
5.3.4. Elección de la formulación de recubrimiento a base de mucílago de linaza: Efecto de la concentración de glicerol.....	31
5.3.5. Formulación y aplicación del recubrimiento comestible con un antimicrobiano.....	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
6.1. Etapa I Extracción del mucílago	
6.1.1. Condiciones de extracción.....	34
6.1.2. Elección del método óptimo.....	34
6.1.3. Caracterización del mucílago de linaza.....	35
6.2. Etapa II. Desarrollo de recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza	
6.2.1. Evaluación de las propiedades reológicas del recubrimiento de mucílago de linaza.....	36
6.2.2. Evaluación de características mecánicas, microestructurales y de transporte de vapor de agua.....	38
6.3. Etapa III. Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza en fresa mínimamente procesada	
6.3.1. Caracterización de la materia prima.....	45
6.3.2. Efecto del tiempo de inmersión de la fresa en el recubrimiento....	45
6.3.3. Efecto del procesado mínimo de fresas en la TR.....	50
6.3.4. Efecto de la concentración de glicerol.....	52
6.3.5. Formulación y aplicación del recubrimiento comestible con un antimicrobiano.....	59
6. CONCLUSIONES .....	67
7. BIBLIOGRAFÍA.....	69
8. ANEXOS.....	77

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Posibles usos de filmes y recubrimientos comestibles.....	11
Tabla 2. Materias primas utilizadas en recubrimientos comestibles...	15
Tabla 3. Diseño experimental de extracción de mucílago.....	23
Tabla 4. Porcentaje del rendimiento de extracción de mucílago de linaza.....	34
Tabla 5. Caracterización bromatológica de mucilago 40°C, 20g.....	35
Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas de mucílago de linaza.....	35
Tabla 7. Propiedades mecánicas de películas de mucílago de linaza.....	41
Tabla 8. Constantes de los Modelos aplicados y coeficiente de correlación para película mucílago de linaza y película mucílago de linaza + 0.3% glicerol (v/v).....	43
Tabla 9. Caracterización fisicoquímica de fresa.....	45
Tabla 10. Parámetros del modelo modificado de Gompertz.....	64

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Rutas metabólicas del piruvato durante la fermentación (Adaptado de Wills, 1998).....	5
Figura 2. Principales funciones de los recubrimientos comestibles aplicados a frutas mínimamente procesadas.....	8
Figura 3. Diagrama de obtención de mucílago de linaza .....	24
Figura 4. Espectros dinámicos de mucílago de linaza con tres concentraciones de glicerol a 25 °C.....	37
Figura 5. Tangente delta de mucílago de linaza con tres concentraciones de glicerol a 25 °C.....	38
Figura 6. Uniformidad de recubrimientos comestibles de mucílago de linaza.....	39
Figura 7. Señal carga tiempo durante fuerza de fractura de película de linaza + 3% de glicerol (v/v).....	40
Figura 8. Isotherma de sorción de película de mucílago de linaza.....	43
Figura 9. microfotografías SEM de película de mucílago de linaza con (A) 0.1, (B) 0.2% y (C) 0.3% glicerol (v/v) .....	44
Figura 10. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con Tratamiento 1.....	46
Figura 11. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con Tratamiento 2.....	46
Figura 12. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con Tratamiento 3.....	47
Figura 13. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa sanitizada.....	47
Figura 14. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa control.....	47
Figura 15. Pérdida de peso en porcentaje de fresa almacenada a 5°C.....	48
Figura 16. Resistencia a la penetración de fresas almacenadas a 5°C.....	49

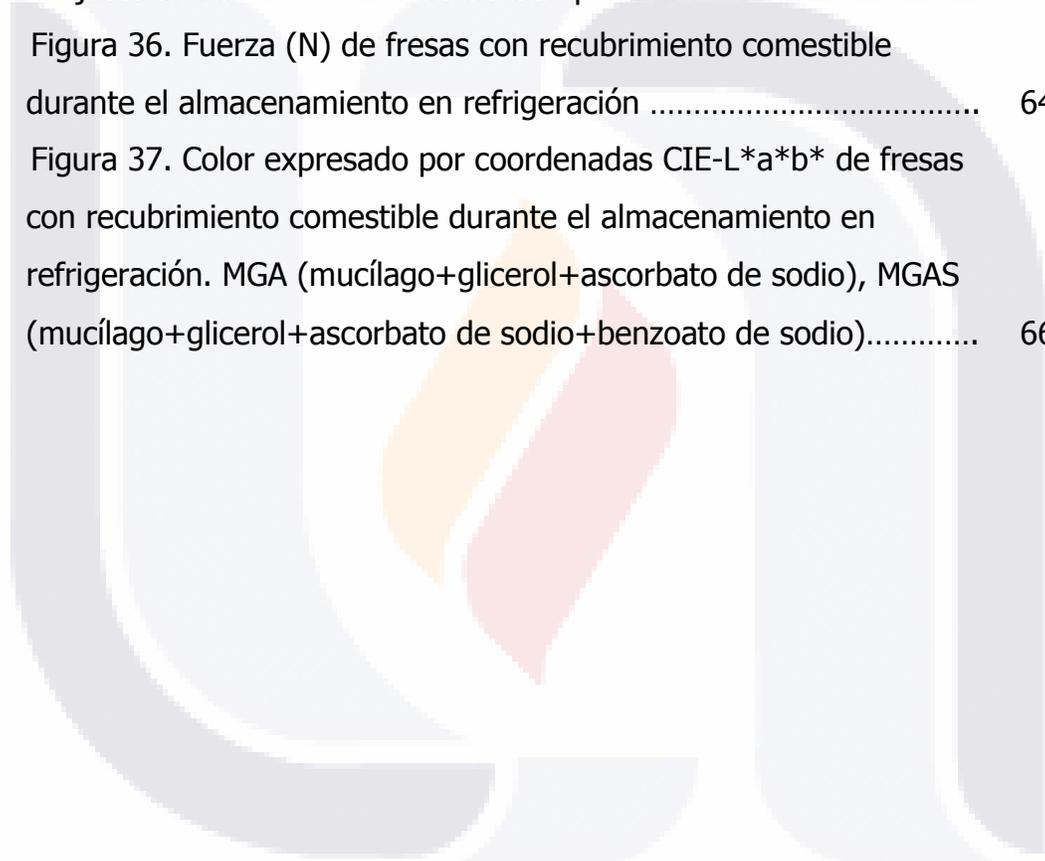
Figura 17. Resultados de evaluación sensorial de muestras de fresa	50
Figura 18. Fresa con distintos tiempos de inmersión .....	50
Figura 19. Tasa de Respiración de CO <sub>2</sub> de fresa a distintas temperaturas.....	51
Figura 20. Tasa de Respiración de O <sub>2</sub> de fresa a distintas temperaturas.....	52
Figura 21. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa sin lavar.....	53
Figura 22. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa lavada.....	53
Figura 23. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con 0.1% glicerol.....	53
Figura 24. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con 0.2% glicerol.....	54
Figura 25. Porcentaje de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con 0.3% glicerol.....	54
Figura 26. Tasa de Respiración de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de fresa con distintos tratamientos.....	55
Figura 27. Coeficiente de Respiración de fresa con distintos tratamientos.....	56
Figura 28. Índice de decaimiento de fresa con distintos tratamientos	57
Figura 29. Fresas con distintos tratamientos .....	57
Figura 30. Microfotografías SEM de fresas secadas mediante punto crítico.....	58
Figura 31. Microfotografías SEM de fresas secadas a temperatura ambiente.....	59
Figura 32. Recuento de microorganismos mesófilos, a lo largo del almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago + glicerol + ascorbato de sodio), MGAS (mucílago + glicerol + ascorbato de sodio + benzoato de sodio).....	61
Figura 33. Recuento de coliformes fecales a lo largo del almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago + glicerol+ ascorbato de sodio), MGAS (mucílago + glicerol + ascorbato de sodio + benzoato de sodio).....	61

Figura 34. Recuento de hongos y levaduras a lo largo del almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago + glicerol + ascorbato de sodio), MGAS (mucílago + glicerol + ascorbato de sodio + benzoato de sodio)..... 62

Figura 35. Evolución del crecimiento de coliformes totales, mesófilas aerobios y hongos y levaduras durante el almacenamiento a 5° C. Los puntos son los datos experimentales (n=2) y la línea es el ajuste al modelo modificado de Gompertz..... 63

Figura 36. Fuerza (N) de fresas con recubrimiento comestible durante el almacenamiento en refrigeración ..... 64

Figura 37. Color expresado por coordenadas CIE-L\*a\*b\* de fresas con recubrimiento comestible durante el almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)..... 66



## RESUMEN

**Evaluación de recubrimientos comestibles a base de mucílagos de linaza (*Linum usitatissimum L.*) y su aplicación en fresa entera.**

**Evaluation of edible coatings based linseed mucilage (*Linum usitatissimum L.*) and its application in whole strawberry.**

Hernández Lozano Linda Carolina; Pérez Cabrera Laura; Tecante Coronel Alberto; Ramírez Gómez Magdalena.

En la actualidad existe una tendencia al aumento en el consumo de frutas y hortalizas debido al interés de una alimentación más saludable así como también ocasionado por la búsqueda de alimentos listos para comer. Por otro lado a nivel mundial ha surgido una preocupación por el uso excesivo de materiales sintéticos que dañan el planeta por lo que se han desarrollado los envases alimentarios elaborados con materiales biodegradables dentro de los cuales están los recubrimientos comestibles (RC) a base de polisacáridos; la linaza es una semilla rica en éstos que puede ser utilizada como matriz para los RC. El presente trabajo se dividió en tres etapas; en la primera se evaluaron métodos de extracción de mucílago de linaza en base a su rendimiento donde se eligió la relación 2:10 (semilla:agua). La segunda etapa tuvo como objetivo elaborar RC a base de mucílago de linaza con el método seleccionado en etapa 1 donde se formuló con glicerol como agente plastificante encontrando adecuado el uso del 0.3% del mismo y finalmente la tercera etapa tuvo como objetivo evaluar la influencia del RC en fresas mínimamente procesadas para alargar la vida útil. A las fresas mínimamente procesadas se les aplicó por inmersión el RC pudiendo ver su incorporación mediante microscopía electrónica de barrido así como se logró demostrar el beneficio del RC para alargar la vida útil al presentar tasa de respiración de CO<sub>2</sub> menores ( $31.49 \pm 0.9 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) a las fresas sin recubrir ( $39.33 \pm 0.8 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y mediante el índice de decaimiento en fresa cubiertas no se observó daño para el día 12 de almacenamiento a 5° mientras que las fresas sin recubrir presentaron daño ligero y moderado para el mismo día. Se determinó la calidad microbiológica de fresas cubiertas con mucilago de linaza y un agente conservador como lo es benzoato de sodio observándose un menor crecimiento de microorganismo mesófilos, coliformes fecales, hongos y levaduras.

Palabras clave: recubrimiento comestible, fresas mínimamente procesadas, mucílago de linaza.

## ABSTRACT

### **EVALUATION OF EDIBLE COATINGS BASED LINSEED MUCILAGE (*Linum usitatissimum* L.) AND ITS APPLICATION IN WHOLE STRAWBERRY.**

Hernández Lozano Linda Carolina; Pérez Cabrera Laura; Tecante Coronel Alberto; Ramírez Gómez Magdalena.

At present there is an increasing trend in consumption of fruits and vegetables due to the interest of a healthier diet as well as the search for food ready to eat. On the other hand global concern is raised by the excessive use of synthetic materials that harm the planet for what they have developed food packaging made from biodegradable materials within which are the edible coatings (EC) based on polysaccharides; Flax seed is rich in them that can be used as a matrix for the EC. This work was divided into three phases, the first extraction methods were evaluated flaxseed mucilage on the basis of their performance where they chose the ratio 2:10 (seed: water). The second phase aimed to develop based EC linseed mucilage with the method selected in step 1 which was formulated with glycerol as plasticizer found appropriate to use the same 0.3% and finally the third stage was to evaluate the influence of EC minimally processed strawberries for extended shelf life. A minimally processed strawberries were applied by dipping the RC can see its incorporation by scanning electron microscopy and were able to demonstrate the benefits of EC to extend lifespan introducing CO<sub>2</sub> respiration rate of children (31.49 ± 0.9 kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) to uncoated strawberries (39.33 ± 0.8 kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) and by the rate of decay in strawberries covered damage was not observed for 12 days of storage at 5 ° while the uncoated strawberries damage was light to moderate for the same day. We determined the microbiological quality of strawberries covered with linseed mucilage and a preservative such as sodium benzoate also reduced mesophilic microorganism growth, fecal coliforms, fungi and yeasts.

Keywords: edible coating, minimally processed strawberries, linseed mucilage.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas y hortalizas en la dieta diaria tiene un efecto benéfico para la salud, ya que son una excelente fuente de vitaminas, minerales y fibra, además de poseer bajo contenido calórico. El procesado mínimo de frutas se ha convertido en un objetivo importante para la industria transformadora de frutas debido a la creciente demanda de alimentos listos para comer y saludables.

Por otro lado el creciente interés por el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles para incrementar la conservación de alimentos se debe fundamentalmente a las exigencias, cada vez mayores, de reducir el impacto en la contaminación ambiental que se ha producido con el incremento de desechos generados por el uso de envases y plásticos de origen sintético o no biodegradables para el empaqueo y distribución de alimentos (Bosquez, 2004).

La elaboración de recubrimientos comestibles con subproductos de desecho de la industria de alimentos ofrece la oportunidad de disminuir los desperdicios, convirtiéndolos en materia prima para la elaboración de películas comestibles de interés nutricional.

Con el desarrollo de un recubrimiento comestible a base de mucilago de linaza se pretende crear una atmósfera modificada en el interior del fruto para retardar el proceso de maduración y senescencia de una forma similar a la de una atmósfera controlada que es mucho más costosa. Los retos técnicos involucrados en su elaboración incluyen la selección del tipo y concentración de los materiales usados para la formulación, las técnicas de preparación, durabilidad, adherencia, entre otras. Por lo tanto se requiere de estudios básicos para diseñar las propiedades funcionales de películas comestibles para aplicaciones específicas.

En fresa se han utilizado otras fuentes de polisacárido para la elaboración de recubrimientos comestibles como almidón de plátano, algarrobo, pero no semilla de linaza y el mucílago de linaza es un subproducto de deshecho en la industria de alimentos.

## 2. ANTECEDENTES

Los cambios en los hábitos alimentarios están ejerciendo un efecto determinante sobre las áreas de innovación tecnológica y especialmente en la producción de alimentos que conserven al máximo las características de un producto fresco (Carbonell, 1995; Schlimme, 1995). Una respuesta a la demanda de este tipo de productos son las frutas y hortalizas frescas cortadas, las cuales abren un nuevo mercado a aquellas personas que, por falta de tiempo o por simple comodidad no tienden a consumir frutas y hortalizas (Romojaro, 1996; Carbonell, 1995; Alzamora, 2000).

Por otro lado la conservación de los alimentos se ha buscado desde los inicios de la humanidad para lograr mantener un reservorio de alimentos; los métodos utilizados han sido, el salado de los alimentos, el ahumado, la congelación, la conserva con ácido acético y en la era moderna se han utilizado compuestos químicos y procesos físicos para alargar la vida de los alimentos. En Inglaterra en el siglo XVI, se cubrían alimentos con grasa para prevenir la pérdida de humedad (Hardenburg, 1976). En 1930, en Estados Unidos se utilizaba cera caliente para cubrir frutas cítricas y emulsiones aceite –agua para cubrir frutas frescas y vegetales. A partir de 1950 hay reportes de películas hechas a base de polisacáridos, proteínas, lípidos y mezclas, las más exitosas fueron las películas hechas a base de lípidos (monoglicéridos acetilados, ceras, surfactantes) y se usaron para bloquear la transferencia de humedad, reducir la abrasión superficial durante la manipulación y controlar el escaldado en manzanas (Kester & Fennema, 1986).

Actualmente la creciente popularidad de los vegetales mínimamente procesados se ha atribuido a los beneficios para la salud asociados con productos frescos, garantizando la inocuidad de los alimentos manteniendo la calidad nutricional y sensorial (Vasconcellos, 2000).

Dicho procesamiento se refiere a las operaciones de selección, lavado, pelado y corte donde los productos experimentan una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y microbiológicos que disminuyen su vida de comercialización (Watada *et al.*, 1996; King Jr. & Bolin, 1989).

Los más importantes atributos de calidad que contribuyen a la comercialización de productos frescos y mínimamente procesados son apariencia, color, textura, sabor, valor nutritivo, y microbiana seguridad. Estos atributos de calidad pueden cambiar rápidamente durante la poscosecha y almacenamiento (Lin & Zhao, 2007).

## **2.1. FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS**

Las frutas y hortalizas frescas reciben el nombre de productos perecibles porque tienen una tendencia inherente a deteriorarse por razones fisiológicas y por la invasión de plagas, infecciones y enfermedades. Las pérdidas poscosecha ocurren en cualquier etapa del proceso de mercadeo, se pueden iniciar durante la cosecha, después durante el acopio y distribución y finalmente cuando el consumidor compra y utiliza el producto. Durante los 30 últimos años, el valor del comercio mundial de productos agrícolas elaborados creció más rápidamente que el de productos agrícolas primarios, sin embargo en el mercado interno, principal destino de la producción frutícola y predomina el consumo en fresco frente al industrial (FAO).

La producción de frutas y hortalizas en los países en desarrollo ha aumentado en los últimos años. Sin embargo, un uso óptimo de estos recursos depende no sólo sobre el aumento de la producción en sí misma, sino también en la mejora, en paralelo, de la infraestructura y las operaciones poscosecha del producto, antes de que llegue al final consumidor.

La fresa mexicana es una hortaliza que tiene más de cuatro décadas abasteciendo al mercado norteamericano, cuyos consumidores la demandan cada vez más como complemento de alimentos que se industrializan de manera fresca y congelada (SAGARPA, 2006).

En México existen doce estados en los que se produce fresa. Estos estados son: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit y Querétaro, Siendo el principal estado productor de fresa es Michoacán (52.38%), seguido de Baja California (24.19%) y Guanajuato (14.98%); estos tres estados genera el 91.55% del total de producción, para

el ciclo 2005/2006 (SIAP) reportó siembra en México de fresa alrededor de 3 mil 346 hectáreas de la hortaliza (SAGARPA, 2006; CONAFRESA).

La planta de la fresa es de tipo herbáceo y perenne. La fresa (*Fragaria ananassa*) es un fruto no climatérico altamente perecedero debido a su elevada tasa de respiración (Manning, 1993). Posee una epidermis muy delgada y frágil lo que hace ser muy susceptibles al ataque por microorganismos y al daño mecánico durante la cosecha, almacenamiento y comercialización (Sistrunk & Morris, 1985). El período de vida de fresas frescas en bajas temperaturas (0-4°C) es generalmente alrededor de 5 días.

## **2.2. ALTERACIONES DE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS**

Las frutas y hortalizas continúan viviendo después de su recolección, lo que se manifiesta en los fenómenos respiratorios y de transpiración, así como en una serie de cambios como color, sabor, aroma, etc., que sucede como consecuencia de las reacciones bioquímicas que tiene lugar entre sus componentes (Martínez *et al.*, 2006). La vida útil en refrigeración de los distintos frutos es muy variable y se correlaciona con su intensidad respiratoria (Day, 1993). La refrigeración constituye la base de conservación de los frutos y si se combina con otras técnicas postcosecha se mejoran los resultados.

La principal causa de deterioro de un producto en almacenamiento es la pérdida de agua. La mayoría de los productos frescos presentan contenidos de agua superiores a 85% y esta se pierde principalmente en estado de vapor a través de las fracturas primarias, fenómeno conocido como transpiración. El agua libre se encuentra en células estrechamente unidas entre sí y se mueve a través de espacios intracelulares interconectados, donde el agua se vaporiza y satura el ambiente intercelular (humedad relativa superior de 95%).

La respiración tiene como funciones primarias la liberación de energía química almacenada como azúcares, lípidos y otros sustratos. Efecto de ella, se emplea los sustratos almacenados en el producto, se consume oxígeno del entorno y se produce dióxido de carbono, agua y calor, lo cual desemboca en una reacción de auto consumo.

La respiración es un proceso metabólico fundamental en el tejido vivo, y puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones de síntesis celular. La respiración puede tener lugar en presencia de oxígeno (respiración aeróbica) o en su ausencia (respiración anaeróbica, a veces denominada fermentación) (Wills, 1998).

### 2.2.1. Alteración de la tasa respiratoria

En los productos vegetales la tasa de respiración es un buen indicador de la actividad metabólica y además es un parámetro eficaz para la predicción de la vida útil (Glenn *et al.*, 1988).

La fruta cortada, troceada y/o pelada sigue unas pautas en la respiración diferentes a las de la fruta entera durante el almacenamiento debido a la respuesta fisiológica al daño sufrido a causa del corte (Wiley, 1994).

Bajo condiciones de limitación de oxígeno atmosférico, los tejidos vegetales pueden iniciar una respiración anaeróbica en la que la glucosa se convierte en piruvato por la vía EMP (Embden-Meyerhof-Parnas). Cuando el piruvato se transforma en ácido láctico o acetaldehído y etanol, el proceso se denomina fermentación (Figura 1). La respiración anaeróbica produce mucha menos energía por mol de glucosa que las rutas aeróbicas, pero permite poner a disposición del tejido cierta cantidad de energía en condiciones adversas (Wills, 1998). Una tasa respiratoria y un cociente respiratorio elevados son generalmente indicativos de reacciones fermentativas.

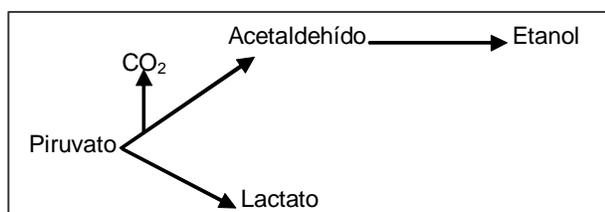


Figura 1. Rutas metabólicas del piruvato durante la fermentación (Adaptado de Wills, 1998)

Los productos vegetales expuestos a condiciones anaeróbicas presentan pérdidas importantes en su calidad, y si la exposición es prolongada tendrá lugar la muerte del tejido vegetal. Los síntomas de la exposición y las pérdidas de calidad varían considerablemente entre los diferentes productos vegetales. Las condiciones anaeróbicas pueden producir la formación sabores y olores indeseables, alteración de la textura, pardeamiento, además de provocar un aumento en la incidencia de desórdenes fisiológicos indeseables (Kays, 1991).

No controlar la tasa de respiración trae como consecuencia:

- Pérdida de energía y con esta menor capacidad en el tiempo para que pueda mantener su condición inicial (vida útil).
- Reducción en el valor alimenticio total dado su inversión de reservas.
- Pérdida de peso como materia seca debido a la eliminación de dióxido de carbono; y se pierde peso fresco por la eliminación de agua

En un ambiente donde el oxígeno se agota con rapidez, puede deteriorarse el producto dado que no hay buena ventilación y se tienen condiciones anaerobias.

Las frutas presentan diferente tolerancia al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> según la especie y cultivar, de acuerdo con su tasa respiratoria y permeabilidad de la piel (Baldwin, 1994).

### **2.3. EMPAQUES ACTIVOS**

Los empaques activos tienen propiedades específicas como es la permeabilidad al vapor de agua, el grado de difusión de gases (O<sub>2</sub>), proporcionar una protección contra microorganismos, así como también deben de cumplir con las propiedades físicas y mecánicas de los polímeros petroquímicos (Guilbert, 1995).

El interés en remplazar los polímeros sintéticos ha aumentado considerablemente debido a la necesidad de disminuir la contaminación del ambiente. El uso de recubrimientos comestibles hoy en día viene aunado a mantener los alimentos mínimamente procesados en mejores condiciones para la aceptación del consumidor y a disminuir la contaminación

ambiental evitando el uso de materiales no biodegradables. La alternativa más viable para solucionar esta problemática, la constituye el desarrollo de materiales biodegradables con propiedades funcionales como empaque y que ofrezcan costos competitivos a los materiales de empaque plásticos actuales. El propósito de los recubrimientos poliméricos es inhibir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma, lípidos y además servir como transporte de antioxidantes, antimicrobianos y sabores e impartir integridad mecánica y facilitar la manipulación de los alimentos. Los recubrimientos comestibles que tienen buenas propiedades mecánicas pueden reemplazar las películas sintéticas.

La permeabilidad al vapor de agua es dependiente de la polaridad relativa del polímero, mientras la permeación de gas tiende a ser proporcional a la fracción del volumen de la fase amorfa de la estructura de la película (Guilbert, 1986). Durante el transporte de gas pueden ocurrir dos mecanismos: difusión capilar en materiales que son porosos o que presentan imperfecciones y difusión activa incluye la solubilización del gas en la película, difusión a través de la película y finalmente el paso al otro lado de la película. La velocidad de la difusión aumenta con el tamaño y número de cavidades (Fennema, 1994). De acuerdo con Chao & Rizvi (1988), la difusión de un gas también está determinada por el área, el gradiente de concentración, temperatura, diferencias de presión a través de la película y humedad relativa. El mecanismo de capilaridad, puede presentarse cuando no hay imperfecciones en la película y el gas permeante sea insoluble. La mayoría de las frutas y hortalizas poseen una capa de cera natural de la superficie, llamada cutícula. Esta capa de cera en general tiene una baja permeabilidad a vapor de agua. La aplicación de un recubrimiento exterior mejorará esta barrera natural en caso de que esta capa sea parcialmente suprimida o alterada durante el manejo poscosecha o transformación (Lin & Zhao, 2007).

#### **2.4. RECUBRIMIENTO COMESTIBLE**

Guilbert, *et al.*, (1986) definieron a un recubrimiento comestible como una capa delgada y continua, hecha de material que puede ser ingerido por el consumidor y provee una barrera a la humedad, oxígeno y solutos. El material puede cubrir completamente el alimento o puede colocarse entre los componentes del producto.

Posteriormente Martín *et al.*, (1992) definieron a los recubrimientos comestibles como capas delgadas de materiales los cuales pueden ser ingeridos por el consumidor, que proveen una barrera al transporte de masa en o a través del alimento fresco o manufacturado. Carrasco *et al.*, (2002) manejaron un concepto que fusiona las dos definiciones anteriores: los recubrimientos comestibles son capas delgadas de un material biopolímero (proteína o polisacárido como una solución hidrocoloide, o como una emulsión con lípidos), que son aplicadas sobre la superficie de un alimento en adición o reemplazo de la corteza natural, y que se comportan principalmente como barreras que reducen la difusión de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ , vapor de agua), permitiendo extender la vida útil del alimento. Según Kester, (1986) los recubrimientos comestibles tienen la función de retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$  y etileno), retener componentes volátiles, servir de vehículo de aditivos, mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo. En la Figura 2 se puede observar las funciones más importantes de los recubrimientos comestibles cuando son aplicados sobre tejidos vivos. Al ser usados sobre frutas cortadas pueden reducir los efectos perjudiciales de operaciones de proceso mínimo como el pelado y cortado sobre tejidos vegetales.

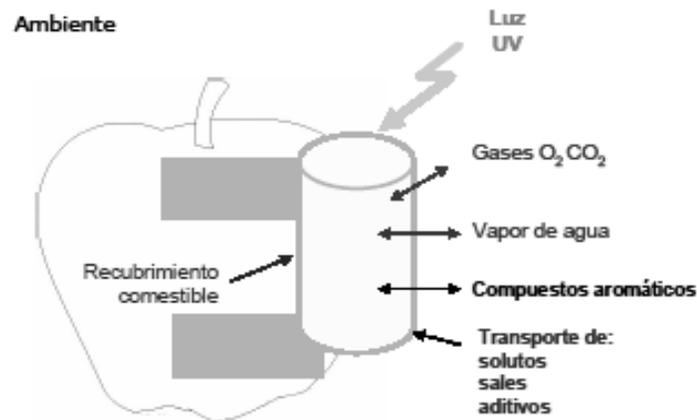


Figura 2. Principales funciones de los recubrimientos comestibles aplicados a frutas mínimamente procesadas.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Los materiales de estos recubrimientos a diferencia de los polímeros sintéticos, provienen de fuentes naturales y son biodegradables (Guilbert *et al.*, 1996). Adicionalmente, producen menos basura, son efectivos y pueden ofrecer protección al alimento una vez abierto el empaque (Cha y Chinnan, 2004). Entre las fuentes renovables disponibles para producir recubrimientos comestibles están los que son basados en polisacáridos ya que son abundantes, baratos y fáciles de usar (Devlieghere *et al.*, 2004; Lee et al., 2003).

Sin embargo, es importante señalar que los materiales de empaque comestibles de ninguna manera pretenden sustituir a los sintéticos, ya que su utilidad se basa en su capacidad para actuar en conjunto para mejorar la calidad de los alimentos, extender la vida de anaquel y, de esta manera, mejorar la eficiencia de los materiales de empaque (Kester y Fennema, 1986).

#### **2.4.1. Recubrimientos comestibles aplicados a frutas y hortalizas**

Los recubrimientos comestibles presentan la ventaja de poder aplicarse a todo tipo de frutas, inclusive aquellas que se consumen con piel, como la fresa, la cereza y la frambuesa. Permiten reducir la generación de residuos plásticos de envasado y, a diferencia del resto de recubrimientos, se formulan a partir de ingredientes que, en su mayoría, proceden de fuentes renovables, evitando el uso de parafinas, aceites minerales, polietileno oxidado y plásticos procedentes del petróleo

Recientemente, Olivas y Barbosa (2005) señalaron que los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas frescas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas (resistencia y flexibilidad) y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptable, ser estable tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico, además de poseer un costo razonable.

Puede ser aplicado mediante inmersión, pulverización y pintado sobre la superficie del alimento recubriéndolo o usado como una envoltura continua separando distintos

componentes alimenticios (Guilbert, 1986; Gennadios, 1994). Algunos autores hacen una diferenciación entre los términos "recubrimiento" y "film". Cuando una emulsión/dispersión es aplicada sobre un producto, formándose un recubrimiento superficial al secarse, se utiliza el término recubrimiento; por el contrario, si éste se estructura aisladamente como una fina película y posteriormente es aplicada sobre el producto, se habla de film (Guilbert, 1986).

El interés ha crecido ya que presentan las siguientes ventajas: Guilbert (1986).

- Puede ser ingerido por el consumidor
- Su costo es generalmente bajo
- Su uso reduce los deshechos y la contaminación ambiental
- Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos
- Proporcionan protección individual a pequeñas piezas o porciones de alimento
- Pueden ser usadas en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes.

Dentro de las principales ventajas del uso de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas se encuentran una mejor retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor, una reducción de la pérdida de agua, una disminución de los desordenes metabólicos durante el período de conservación, una forma de soporte de otros compuestos, una indiscutible reducción en el uso de envases sintéticos y un mantenimiento de la calidad durante el almacenamiento (Nispero, 1992; Park, 1999; Sothornvit *et al.*, 2007).

Su uso tiene como objetivo mantener la calidad de los productos recubiertos mediante un control y retardo de los principales eventos asociados con su alteración. En la Tabla 1 se presentan algunos tipos de recubrimientos y filmes comestibles para un uso específico.

Tabla 1. Posibles usos de filmes y recubrimientos comestibles (Donhowe, 1993)

<b>Usos</b>	<b>Tipos de filmes apropiados</b>
Retardar la migración de humedad	Lípidos, film multicomponentes
Retardar migración de aceite y grasas	Hidrocoloide
Retardar migración de solutos	
Mejorar integridad estructural y propiedades de manejo	Hidrocoloide, lípido,
Retener compuestos aromáticos volátiles	multicomponente
Transportar aditivos alimentarios	
Retardar migración de gas	

Los recubrimientos comestibles deben presentar ciertos requerimientos funcionales, que permitan controlar o aminorar las causas de alteración de los alimentos a recubrir. Estos requerimientos son dependientes de la naturaleza del producto alimenticio al cual se aplica y de su principal mecanismo de deterioro. Según Kester & Fennema, (1986) y Debeaufort *et al.*, (1998), algunos de estos requerimientos son:

- Propiedades sensoriales: los recubrimientos o filmes deben ser transparentes, no otorgar sabor y olor diferente al alimento y no ser detectados durante el consumo.
- Propiedades barrera: Presentar una adecuada permeabilidad al vapor de agua y solutos y una permeabilidad selectiva a gases y volátiles.
- Propiedades mecánicas: Ser resistentes al quiebre y a la abrasión, mejorando las características de manejo del producto, presentar suficiente flexibilidad, para adaptarse a las posibles deformaciones sin quebrarse.
- Deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- Los componentes no deben producir contaminación al medio ambiental
- Las materias primas y el proceso deben ser de bajo costo.

#### **2.4.2. Componentes de recubrimientos comestibles**

La selección de los materiales formadores de recubrimientos tiene una especial importancia, ya que sus propiedades están fuertemente afectadas por la naturaleza de sus componentes, composición y estructura final.

Para la formación de un recubrimiento comestible se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión (Debeaufort *et al.*, 1998). Los componentes de los recubrimientos comestibles pueden ser divididos en tres categorías hidrocoloides, lípidos y componentes compuestos; que cuando se combinan pueden interactuar física y/o químicamente, se pueden obtener recubrimientos con mejores propiedades. Sin embargo, la compatibilidad de los componentes es un punto importante a considerar cuando se trata de una mezcla de biopolímeros, ya que se puede alterar drásticamente el funcionamiento de los compuestos del recubrimiento (Diab *et al.*, 2001). Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros polisacáridos; los lípidos incluyen ceras, acilglicerol y ácidos grasos y los componentes compuestos incluyen hidrocoloides y lípidos (Krochta, 1994).

Con el fin de mejorar el intercambio de gases, la adherencia, y las propiedades de permeabilidad a la humedad, generalmente se combinan dos o más materiales (Baldwin *et al.*, 1995). Dichas mezclas suelen realizarse mediante emulsión de uno de los componentes, generalmente un lípido, en el resto de los componentes, o mediante un recubrimiento multicapa, donde el recubrimiento se aplica mediante una técnica de laminación, en la cual se hace la inmersión de la fruta en una primera solución, generalmente la matriz, seguida por una inmersión en otro tipo de solución, ya sea de naturaleza lipídica o cálcica, entre otras.

#### **2.4.2.1. Hidrocoloides**

Pueden ser polisacáridos o proteínas. Son usados donde el control de la migración de vapor de agua no es el objetivo. Posee buenas propiedades de barrera al oxígeno, dióxido de carbono y lípidos; tiene propiedades mecánicas deseables para trabajar con productos frágiles, son sensibles al calentamiento y no aportan sabor (Donhowe & Fennema, 1993). Los hidrocoloides de molécula lineal pueden formar estructuras ordenadas y compactas en las que las moléculas están muy próximas entre sí y dejan poco volumen libre para la difusión de gases y vapor de agua. Por el contrario, la presencia de anillos en la molécula de hidrocoloide reduce su grado de interacción intermolecular y su capacidad para formar estructuras ordenadas (Ashley, 1985). La presencia de grupos polares permite la

asociación de cadenas mediante puentes de hidrogeno pero aumenta la afinidad por el agua, lo que hace a los hidrocoloides malas barreras al vapor de agua.

#### 2.4.2.1.1 Polisacáridos

Los polisacáridos solubles en agua son cadenas largas de polímeros ampliamente utilizados en la industria alimentaria. Estos compuestos son no tóxicos y se encuentran ampliamente distribuidos. (Cha y Chinnan, 2004). La presencia de grupos polares permite la asociación de cadenas mediante puentes de hidrogeno pero aumenta la afinidad por el agua, lo que hace a los hidrocoloides malas barreras al vapor de agua sin embargo, tiene buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a la superficie de frutas y vegetales seleccionados (Guilbert, 1986).

#### 2.4.2.1.2 Proteínas

Poseen mayor resistencia al vapor de agua que el resto de los hidrocoloides solubles en agua por su carácter iónico y linealidad molecular presentan mayor interacción molecular que los polisacáridos, sin embargo, poseen entre 2 y 4 veces más permeabilidad al vapor de agua que empaques plásticos tales como el polipropileno, polietileno, poliéster y el PVC (Cho *et al.*, 2002; Gennadios *et al.*, 1997), pese a ello podrían proporcionar buenas propiedades de barrera a los gases a humedades relativamente bajas (Cho *et al.*, 2002), son susceptibles al cambio de pH, pueden proporcionar un valor nutricional agregado al producto, son buenas formadoras de recubrimientos y se adhieren a superficies hidrofílicas (Baldwin *et al.*, 1995; Miller y Krochta, 1997),

#### **2.4.2.2. Lípidos**

Se utilizan como barrera al vapor de agua. La polaridad, longitud de la cadena hidrocarbonada, el estado físico, el grado de saturación y el polimorfismo son algunas características de los lípidos que afectan la permeabilidad al vapor de agua de las películas. Las propiedades de barrera de estas películas son dependientes del arreglo

crystalino que presenten los lípidos (Donhowe &Fennema, 1993). Sin embargo, éstos generalmente no forman películas cohesivas por sí mismos (Krochta, 2002).

#### **2.4.2.3. Agentes plastificantes**

Los agentes plastificantes pueden ser incorporados en las películas y recubrimientos comestibles para modificar las propiedades mecánicas entre ellos se encuentra el glicerol, sorbitol, manitol, sacarosa, propilenglicol y polietilenglicol (Kester y Fennema, 1986). Su función es debilitar las fuerzas moleculares entre cadenas de polímeros adyacentes, mejorando las propiedades mecánicas de las películas y recubrimientos (Kester y Fennema, 1986; Krochta, 2002), incrementando su flexibilidad y favoreciendo la formación de una red estructural más homogénea. Sin embargo, también disminuyen la capacidad de las películas y recubrimientos para actuar como barreras frente a la humedad, oxígeno y aromas (Krochta , 2002).

#### **2.4.3. Formación de recubrimientos comestibles**

Considerando las propiedades que presentan los materiales formadores de recubrimientos comestibles, es difícil obtener un film o recubrimiento adecuado, a partir de un único material, que posea a la vez buenas propiedades mecánicas, de barrera al vapor de agua y a los gases. Numerosas investigaciones han encontrado que los requerimientos funcionales que debe poseer un recubrimiento para una aplicación específica, pueden lograrse combinando las ventajas que ofrece cada componente.

Es muy común encontrar recubrimientos comestibles compuestos de una matriz como polisacáridos y lípidos en la Tabla 2 se muestran distintas formulaciones utilizadas por diferentes autores.

Tabla 2. Materias primas utilizadas en recubrimientos comestibles

<b>Matriz</b>	<b>Concn.</b>	<b>Plastificante</b>	<b>Concn.</b>	<b>Emulsificante</b>	<b>Concn.</b>	<b>Fuente</b>
<b>Alginato</b>	2%w/v	Glicerol	1% w/v	----	----	(Tapia <i>et al.</i> , 2008)
<b>Gelatina</b>			21	----	----	(Zhong & Xia, 2008)
<b>Quitosan</b>	100 g	Glicerol	42			
<b>Almidón</b>			63			
<b>Harina de amaranto</b>	100g	Glicerol	26g	----	----	(Colla <i>et al.</i> , 2006)
<b>Proteína</b>	6%	Glicerol	6%	----	----	(Alleoni <i>et al.</i> , 2006)
<b>Proteína</b>	4%	Sorbitol	8%	----	----	(Alleoni <i>et al.</i> , 2006)
<b>Quitosan</b>	1.5%	----	----	Tween 80	0.1%	(Casariego <i>et al.</i> , 2008)
<b>Harina de amaranto</b>	100g	----	----	Ac. Esteárico	10g	(Giménez <i>et al.</i> , 2009)

Cuando un polímero está siendo aplicado a una matriz o superficie, existen dos fuerzas que operan, una es entre las moléculas del polímero formadoras de la película (cohesión) y la otra de la película y el sustrato (adhesión). Las de cohesión afectan la densidad, compactación, porosidad, permeabilidad, flexibilidad y fragilidad de la película. La exposición al calor excesivo de las películas, afecta la cohesión porque inmoviliza prematuramente las moléculas del polímero provocando defectos como perforaciones y fractura prematura de la película (Guilbert, 1986).

La incorporación de plastificantes tiene como objetivo mejorar la flexibilidad de los recubrimientos, haciéndolos menos quebradizos. La rigidez de los recubrimientos se debe a las fuerzas de cohesión que estabilizan la matriz polimérica de polisacárido o proteína. Los plastificantes debilitan estas fuerzas de cohesión entre las cadenas de polímero, incrementando la movilidad de las mismas y mejorando la flexibilidad de la matriz polimérica (Banker, 1966). Sin embargo, la reducción de la cohesión del polímero se traduce en un incremento de la permeabilidad a los gases y al vapor de agua del recubrimiento (Banker, 1966; Mchugh y Krochta, 1994).

#### **2.4.4. Aplicación de recubrimientos y filmes comestibles en frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas.**

El uso de recubrimientos y filmes comestibles como una capa protectora ha sido practicada desde hace mucho tiempo, generándose una gran cantidad de información sobre la aplicación de ceras o emulsiones acuosas de ceras a frutas y hortalizas frescas (Kaplan, 1986). Su uso en productos vegetales enteros es ampliamente utilizado en la industria de frutos enteros, siendo esta una etapa del acondicionamiento poscosecha. La aplicación del recubrimiento, principalmente ceras y resinas en emulsión tiene el objetivo de reducir la pérdida de humedad, reducir la tasa de respiración, proteger al fruto de ataques fúngicos o bacterianos y alcanzar presentación más atractiva para el consumidor. Sin embargo en productos procesados en fresco (mínimamente procesados) es reciente, encontrándose la mayoría en etapa experimental (Baldwin *et al.*, 1995).

En el caso particular de frutas y hortalizas para consumo en fresco, los recubrimientos comestibles proporcionan una cubierta protectora adicional cuyo impacto tecnológico es equivalente al de una atmósfera modificada, por lo tanto representan una alternativa a este tipo de almacenamiento (Park, 1999).

El recubrimiento ideal para aplicar en trozos de frutas y verduras, teóricamente debería poseer las siguientes características: (1) formar una eficiente barrera a la pérdida de humedad, (2) tener una permeabilidad selectiva a los gases, (3) controlar la migración de solutos hidrosolubles para retener los pigmentos del color natural y nutrientes (4) incorporar aditivos como colorantes, saborizantes o conservantes que impartan propiedades y funciones específicas. En la práctica, lograr que un recubrimiento reúna todos estos requerimientos es muy difícil. Uno de los mayores problemas técnicos que supone la aplicación de recubrimientos comestibles sobre productos troceados, es la adhesión de un material lipídico sobre una superficie húmeda. Una solución a este problema ha sido la aplicación de recubrimientos emulsionados. En este sentido se han optimizado mezclas de caseína/monoglicerido acetilado. La caseína coagula al ajustar el pH al punto isoeléctrico de 4.6; de esta forma las moléculas de lípido quedarían atrapadas en la matriz y podrían fijarse a la superficie (Krochta *et al.*, 1988). Otro método empleado ha sido el uso de polímeros con grupos funcionales adecuados para producir un

entrecruzamiento iónico. En una emulsión caseinato/monoglicérido acetilado/alginato, la asociación de las cadenas de ácido poligulurónico e iones calcio proporciona zonas de unión que dan lugar al entrecruzado del polímero de alginato, produciendo una red tridimensional que contiene la caseína y el monoglicérido acetilado en los intersticios. En esta técnica, en la que se utiliza alginato, se tiene la ventaja adicional de producir un entrecruzamiento entre el recubrimiento y la pectina endémica de la superficie cortada, siempre que el producto cortado sea previamente sumergido en la disolución de calcio (Wong *et al.*, 1994). Nussinovitch, (1994), demostraron que la incorporación de componentes lipídicos, que suelen encontrarse en forma natural en la piel de ajos, a las formulaciones de recubrimientos comestibles, permite mejorar la adhesión del recubrimiento a la superficie del producto (Nussinovitch *et al.*, 1994).

Para ejercer una barrera efectiva, los recubrimientos deben formar una capa continua en la superficie del fruto penetrando en los poros del mismo. La tensión superficial y la viscosidad de las emulsiones que forman el recubrimiento determinan la capacidad de estos impregnando al fruto en la etapa de aplicación y, por tanto, determinan su capacidad para taponar poros y formar una capa continua en la superficie del fruto (Hagenmaier y Baker, 1993; Hershko y Nussinovitch, 1998). Una distribución homogénea del recubrimiento se consigue mediante una aplicación y secado adecuados. Existen distintas técnicas de aplicación de recubrimientos (por inmersión, por aspersion de espuma y por atomización) que proporcionan distintos resultados. La inmersión es una técnica de bajo costo que permite obtener una distribución homogénea del recubrimiento si se realiza adecuadamente. Sin embargo, puede originar problemas de contaminación microbiana o dilución de las emulsiones si la fruta no está previamente seca.

De acuerdo a Olivas & Barbosa (2005) los recubrimientos comestibles aplicados en frutas cortadas producen una atmósfera modificada en la fruta, reducen el deterioro, retrasan la maduración de frutas climatéricas, reducen la pérdida de agua, retardan los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedad entre trozos de frutas, transportan compuestos antioxidantes y estabilizantes de la textura, imparten color y sabor, y pudieran servir como transporte de otras sustancias.

Los recubrimientos comestibles aparte de actuar como barrera a los gases, pueden servir para mejorar la seguridad de los alimentos mediante la inhibición o retraso en el crecimiento de los microorganismos (Appendini and Hotchkiss, 2002). El uso de recubrimientos comestibles como quitosán o almidón ha sido una alternativa viable para controlar el crecimiento microbiano en zanahorias mínimamente procesadas (Durango et al., 2005), fresas (Mali and Grossmann, 2003) y frambuesas (Han et al., 2005).

#### **2.4.5. Recubrimientos comestibles a base de mucílagos**

En el reino vegetal existen innumerables polisacáridos que son capaces de formar geles en agua. Algunos de ellos como pectinas, carragenina, agarosa alginatos y xantanos, distribuidos ampliamente en plantas inferiores y superiores. De estos polisacáridos se tiene un estudio relevante de su bioquímica y de sus propiedades fisicoquímicas, reológicas y biofísicas (Trachtenberg, 1982). En contraste, se tienen poca información de las propiedades de composición y/o aplicaciones de mucílagos de plantas. Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos que se obtienen de tallos o semillas de plantas (Trachtenberg & Mayer, 1981), formados por diferentes azúcares y en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas: geles en agua.

Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas y su uso en el recubrimiento de frutas cortadas no ha sido muy estudiado. De la planta de sábila se puede extraer un gel cristalino (mucílago) el cual está libre de aromas y sabores (Ni *et al.*, 2004). Investigaciones recientes han demostrado que el gel proveniente de la planta de sábila (*Aloe vera*) puede prolongar la conservación de productos frescos. Serrano *et al.*, (2006) emplearon un gel elaborado a partir de Aloe vera para el recubrimiento de uvas de mesa, observando una extensión de la vida útil de las frutas de hasta 35 días comparado con uvas sin recubrir. Además, dicho recubrimiento permitió retener la concentración de ácido ascórbico de las uvas. Por su parte Martínez et al., (2006) estudiaron el efecto del Aloe vera en el recubrimiento de cerezas observando una disminución de los diferentes parámetros responsables de la pérdida de calidad de la fruta, además de excelentes propiedades sensoriales de los recubrimientos.

Otro mucílago recientemente empleado en la elaboración de recubrimientos comestibles

es el extraído de nopal (cactus). Este tipo de mucílago tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, disolverse y dispersarse por sí mismo y formar soluciones viscosas (Dominguez, 1995). Del Valle et al., (2005) desarrollaron un recubrimiento comestible a partir de mucílagos de cactus (*O. ficus indica*) con el fin de extender la vida útil de fresas. Este recubrimiento no afectó la calidad sensorial de las fresas recubiertas, manteniendo además su color y firmeza original durante 9 días de almacenamiento.

#### **2.4.5.1 Linaza como fuente de polisacáridos**

La planta de lino ha sido cultivada desde la antigüedad, sobre todo para el uso de su aceite y fibra (Wanasundara et al., 1997).

La linaza proveniente de la planta de lino, es una pequeña semilla ovalada, plana y algo de pico, de 2,5 mm x 5 mm x 1 mm y un peso promedio de 3.13 mg por semilla de color amarillo a color marrón (Dybing & Lay, 1981). Tiene dos cotiledones aplanados, que constituyen la mayor proporción del embrión; este último está rodeado por las cubiertas de la semilla y por una delgada capa de endospermo. La testa tiene una capa exterior que contiene la mayoría de la fibra soluble y dos interiores ricas en fibra y lignanos. Desde un punto de vista estructural, la testa, endospermo y cotiledones representan el 22, 21 y 57 %, respectivamente (Daun *et al.*, 2003; Oomah, 2003; Wiesenborn *et al.*, 2003).

Tiene propiedades nutricionales interesantes y efectos potencialmente beneficiosos para la salud que se deben a su composición química; por la gran cantidad de fibra dietética, ácidos grasos poliinsaturados y fitoquímicos. Un 30% de la semilla de linaza se compone de fibra dietética de la cual una tercera parte es fibra soluble y el resto fibra insoluble (McKevith , 2005).

Cuando la fibra soluble entra en contacto con agua, emerge de la semilla una sustancia que recibe el nombre de mucílago o goma, que consiste prácticamente en polisacáridos que posee la semilla, no solamente tiene importancia por su valor nutricional, sino además, porque tiene una naturaleza hidrocoloide lo cual es una propiedad importante en la industria de alimentos. Las unidades estructurales son dos componentes de polisacáridos, ácidos y neutros, en una proporción de 2: 1 (Erskine & Jones, 1957; Hunt & Jones, 1962; Fedeniuk & Biliaderis, 1994). La fracción neutra contiene L-arabinosa,

Dxilosa y D-galactosa en una relación molar de 3.5:6.2:1. La fracción ácida contiene L-ramnosa, L-fucosa, L-galactosa, y ácido D-galactourónico en una relación molar de 2,6: 1: 1,4: 1,7. Según Oomah *et al.* (1995), los polisacáridos solubles en agua de linaza consisten en glucosa, xilosa, galactosa, ramnosa, arabinosa y fucosa en orden decreciente de abundancia que emergen de la semilla cuando entra en contacto con agua (Ricky & Costas, 1994). La funcionalidad de mucílago de la linaza es similar a la de la goma arábica (BeMiller, 1993; Mazza & Biliaderis, 1989).

El mucílago de linaza (*Linum usitatissimum* L.) es una sustancia gomosa que se encuentran debajo de la cubierta de las semillas. Tiene la capacidad de captar agua y formar coloides tipo gel, esto atribuido a la acción osmótica de la fibra soluble que integra los mucílagos (Salgado, 2005). Así mismo el mucílago de linaza en algunas ocasiones es un subproducto de desecho durante la extracción de aceite de la semilla, la fabricación de harinas, la fabricación de alimentos balanceados, entre otros. En base a estas características funcionales en el presente trabajo se estudio el mucílago de linaza como material de recubrimiento comestibles de fresas para incrementar su vida útil durante el almacenamiento.



### 3. HIPÓTESIS

- El mucílago de la semilla de linaza se puede utilizar como matriz para la formación de recubrimientos comestibles aplicables a fresas enteras y puede mantener su calidad fisicoquímica, mecánica, fisiológica, microbiológica y sensorial por lo tanto alarga la vida de anaquel de las fresas.



## 4. OBJETIVO

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza inocuo y que no dañe el ambiente, así como evaluar el efecto de su aplicación en la calidad y vida útil de fresas mínimamente procesadas.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar estrategias de extracción de mucílagos adecuadas que mantengan sus propiedades funcionales y seleccionar el método de extracción en base a los resultados obtenidos en la caracterización.
- Diseñar y caracterizar formulaciones en base a mucílago de linaza, solo o en combinación con ingredientes que impartan propiedades de barrera a CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> así como de humedad.
- Evaluar la aplicación del recubrimiento comestible mediante el impacto en la calidad de fresas enteras mínimamente procesadas durante su almacenamiento.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio consta de tres etapas

**Etapas I** Extracción del mucílago.

**Etapas II** Elaboración de recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza.

**Etapas III** Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza y en fresa entera.

### 5.1. Etapas I. Extracción de mucílago de linaza (*Linum usitatissimum L.*)

Se trabajó con semilla de linaza (*Linum usitatissimum L.*) obtenida en un mercado local. Se llevó a cabo un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 4 X 3, donde el factor A es la temperatura (cuatro niveles) y el factor B tres relaciones de agua-semilla (tres niveles), como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Diseño experimental de extracción de mucílago

Relación semilla-agua	TEMPERATURA <i>FACTOR A</i>			
	25	40	60	80
1: 10	1/25	1/40	1/60	1/80
2: 10	2/25	2/40	2/60	2/80
3: 10	3/25	3/40	3/60	3/80

La extracción del mucílago se realizó mediante una adaptación al método descrito por (O'Mullane & Hayter, 1992). La extracción se llevó a cabo con agua destilada durante 1 hora con agitación a 1400 rpm, siguiendo el diagrama de extracción que se ilustra en la Figura 3 y bajo las condiciones de la Tabla 3.

Los resultados de rendimiento de extracción en húmedo se analizaron con un análisis de varianza utilizando un nivel significativo  $p < 0.05$ . (Statgraphics plus), para la determinación del método óptimo en base a rendimiento (nivel relación agua-semilla: temperatura).



Figura 3. Diagrama de obtención de mucílago de linaza

La selección del método óptimo se realizó en base al mayor rendimiento de extracción en húmedo. Al mucílago proveniente del método óptimo se le determinaron características fisicoquímicas: humedad siguiendo el método AOAC 925.10 (1995); aw se determinó en un Aqua Lab (Decagon)  $\pm 0.003$ ; el pH de la solución acuosa de mucílago de semilla de linaza, se determinó directamente con un potenciómetro digital (*HANNA instruments*); acidez se utilizó el método AOAC 942.15 (1995), realizando tres determinaciones para cada medición.

## **5.2. Etapa II. Elaboración de recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza.**

En ésta etapa la unidad de análisis fueron los recubrimientos formulados con distintos porcentajes de glicerol. Los recubrimientos se realizaron a partir del mucílago proveniente del método óptimo de extracción (40°C por 1 hora 1400 rpm con la relación 2:10 semilla agua) y con tres concentraciones de glicerol (0.1, 0.2 y 0.3%).

### **5.2.1. Evaluación de propiedades reológicas de recubrimientos comestibles**

Se analizaron las propiedades reológicas de las formulaciones A, B y C (mucilago + 0.1, 0.2 y 0.3% v/v de glicerol respectivamente) de los recubrimientos a base de mucílago. Las pruebas reológicas en cizalla oscilatoria de baja amplitud se hicieron en un reómetro de deformación controlada ARES-RFS III (Advanced Rheometric Expansion System-Rheometric Fluids Spectrometer, TA Instruments, EUA) con una geometría de cono y placa de 50 mm de diámetro y 0.04 radianes de ángulo del cono. Para asegurar que las pruebas reológicas se realizaran dentro del intervalo de viscoelasticidad lineal, se hicieron barridos de deformación a una frecuencia constante de 1 Hz. Identificada esta zona, se llevaron a cabo barridos de frecuencia a una deformación constante dentro de la zona de viscoelasticidad lineal. Las pruebas reológicas se realizaron a una temperatura constante regulada de 25 +/- 0.1 °C.

### **5.2.2. Evaluación de características mecánicas, transporte de vapor de agua y microestructurales de la película formada por el recubrimiento**

Las tres formulaciones A, B y C de recubrimientos comestibles fueron extendidas en cajas petri de 9 cm de diámetro y se dejaron secar a 25°C por 48 horas, se despegaron y cortaron de acuerdo a la prueba a realizar.

#### **5.2.2.1 Espesor de la película formada por el recubrimiento**

Se colocaron 10 y 15 mL de recubrimiento comestible en cajas petri de plástico 85 mm de diámetro y se dejaron secar a 25°C durante 48 h se separara el recubrimiento formado con ayuda de una espátula y se determinara su espesor con un micrómetro digital

(Mitutoyo Modelo 293831) las mediciones se realizaron por triplicado a los dos volúmenes de recubrimientos, midiendo en 3 puntos y obteniendo un valor medio.

### 5.2.2.2. Propiedades Mecánicas

Se realizó un ensayo de resistencia a la tensión, a temperatura ambiente (22°C) aplicando una deformación máxima del 80% a las muestras, con una velocidad de avance de 1 mm s<sup>-1</sup>. El equipo utilizado fue una prensa universal (Stable Micro Systems Modelo TA-XTplus, Inglaterra) con una célula de carga de 250 N y dos mordazas. Las curvas obtenidas fuerza-distancia, se transformaron en curvas tensión-deformación de Hencky (Peleg, 1979), para la determinación de deformabilidad, rigidez de la muestra, la deformación elástica, la dureza y la resistencia a la fractura.

### 5.2.2.3. Isotherma de sorción

La propiedad de barrera de los recubrimientos comestibles se determinó mediante la isoterma de absorción como indicativo de la evolución del contenido de humedad del mucílago durante el almacenamiento y la predicción de su comportamiento durante la vida útil del producto. La metodología consistió en colocar las mucílagos, extendidos hasta la formación de una película con un espesor de 0.02 mm (Micrómetro Digital Mitutoyo) en un recipiente cerrado herméticamente, junto con una disolución saturada de a<sub>w</sub> conocida en un rango de 0.113 a 0.976, (Labuza *et al.*, 1985) hasta condición de equilibrio a 20 ± 1 °C realizando 3 repeticiones. El contenido de humedad en equilibrio fue calculado en base a la ganancia de peso.

Los datos experimentales fueron modelados con las ecuaciones de: GAB (Guggenheim, Anderson y de Boer) y BET (Brunauer, Emmett y Teller).

MODELO DE BET

$$\frac{a_w}{(1 - a_w)w_e} = \frac{1}{w_o \cdot C} + \frac{C - 1}{w_o \cdot C} a_w$$

MODELO DE GAB

$$\frac{a_w}{w_e} = \frac{1}{w_o \cdot C \cdot K} + \frac{C - 2}{w_o \cdot C} a_w + \frac{K(1 - C)}{w_o \cdot C} a_w^2$$

(Ec. 1)

#### **5.2.2.4. Microscopia Electrónica de Barrido**

Las muestras fueron recubiertas con oro a 100 Angstroms mediante un nebulizador de oro (Dentonvacuum) y se analizaron en el microscopio electrónico (JEOLJFM-59LV) a 10kV, a 5, 10, 20 y 50µm.

### **5.3. Etapa III. Aplicación y evaluación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza en fresa entera mínimamente procesada.**

En esta etapa se evaluó el efecto protector de los recubrimientos (cambios fisicoquímicos, fisiológicos, mecánicos y microbiológicos) en condiciones controladas de almacenamiento 5°C, sobre fresas enteras mínimamente procesadas.

#### **5.3.1. Evaluación de la materia prima**

Se utilizaron fresas (*Fragaria ananassa*) var. "Zamorana" adquiridas en el mercado local de venta por mayoreo en una bodega especializada del Centro Comercial Agropecuario, Ags., e inmediatamente se trasladaron al laboratorio para su selección y clasificación en base a la norma NMX-FF-062-2002, se escogieron las fresas que cumplían con las especificaciones de requerimientos mínimos y que se clasificaron en el grado de calidad Extra (México 1). Posteriormente las fresas fueron procesadas aplicando técnicas de procesamiento mínimo (lavado, cortado o troceado, sanitizado, centrifugado); los lotes de fresas serán constituidos por 6 kg preseleccionadas sin tratamiento postcosecha realizando la higienización por inmersión con hipoclorito de sodio (200 ppm durante 10 minutos), y eliminado el exceso de agua-cloro por centrifugación. Las fresas fueron caracterizadas en sus propiedades fisicoquímicas:

##### **5.3.1.1. Sólidos solubles totales (°Brix).**

Se determinó con un refractómetro (Milauke MR32ATC) a 20°C.

##### **5.3.1.2. Acidez titulable**

Determinada mediante método AOAC 942.15 (1995), y expresada como porcentaje (g del ácido cítrico por 100 g de fruta).

### 5.3.1.3. pH

Se determinó mediante un pHmetro (pH-meter HANNA Instrument), previa calibración con dos soluciones tampón de valores de pH 7.0 y 4.0.

### 5.3.1.4. aw

Se determinó en un Aqua Lab (Decagon 3T)  $\pm 0.003$ , previa calibración del mismo con patrones de disoluciones molares de KCl, 0.5; NaCl, 60; LiCl, 8.57 y LiCl, 1341 con actividades de agua de 0.984, 0.760, 0.500 y 0.250, respectivamente, en un rango de temperatura de 22 a 25 °C.

### 5.3.1.5. Humedad

La determinación del contenido en agua de las muestras se realizó siguiendo el método AOAC 925.10 (1995). Se utilizó una estufa (TerLab). Los resultados se expresaron en %.

### 5.3.2. Determinación del tiempo de inmersión

Se aplicó el mucílago de linaza del método óptimo (40°C por 1 hora 1400 rpm con la relación 2:10 semilla agua) a fresas procesadas mínimamente durante un tiempo determinado 3, 5 y 10 minutos y posteriormente se secaron en una cámara a condiciones controladas 20°C para su posterior envasado en charolas; las muestras fueron almacenadas a temperaturas de refrigeración 4°C y a una humedad relativa de 39%. Las muestras recubiertas fueron comparadas con muestras con las mismas condiciones de proceso sin la etapa de aplicación del recubrimiento: Muestras *Blancas*. Se tuvo una muestra denominada *Control* muestra fresca sin aplicar el proceso mínimo.

Se asignó la siguiente codificación:

Tratamiento	Formulación			
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
Control (fresco)	C	C	C	C
Blanco (sin recubrir)	B	B	B	B
Recubierto (3 minutos)	R1I	R1II	R1III	R1IV
Recubierto (5 minutos)	R2I	R2II	R2III	R2IV
Recubierto (10 minutos)	R3I	R3II	R3III	R3IV

Se realizó un muestreo cada tercer día al azar de las muestras almacenadas para determinar sus características fisiológicas ( $\text{TRO}_2$ ,  $\text{TRCO}_2$ ) al inicio, durante y al final del almacenamiento así como sensoriales al final del almacenamiento. Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza con el nivel significativo  $p < 0.05$ , utilizando Statgraphics plus.

#### **5.3.2.1. Evaluación de $\text{O}_2$ y $\text{CO}_2$**

Las muestras se colocaron en un recipiente de vidrio cerrado. Las concentraciones en porcentaje de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  se midieron con un analizador automático (PBI Dansensor, Koch) que utiliza un detector de infrarrojos para el  $\text{CO}_2$  (0.01-100%) y el  $\text{O}_2$  es detectado por un sensor de estado sólido (0-100%). La muestra de gas (1-2 mL) fue succionada del espacio de cabeza por una jeringa a través de un septum cada 20 min durante 140 min.

#### **5.3.2.2. Pérdida de peso**

Se determinó al final del almacenamiento. Los resultados se expresan como el porcentaje pérdida de peso con respecto al peso inicial.

#### **5.3.2.3. Firmeza**

La firmeza se determinó con un penetrómetro (Koehler K95500) llevado a cabo en un tiempo de 5 s de penetración y un peso de 50g con una aguja, la profundidad se reporta en décimas de milímetro.

#### **5.3.2.4. Análisis sensorial**

Se reclutó a un panel sensorial de 10 consumidores de 20 a 40 años que evaluaron mediante una prueba de referencia a los 12 días de almacenamiento los siguientes atributos: aspecto global, color, brillo, contracción de la superficie, sequedad e intención de compra. Se compararon las diferentes muestras: fresco (control), no recubierto (blanco) y recubierto a los tres tiempos de inmersión, Las muestras

fueron preparadas y codificadas aleatoriamente y los datos fueron analizados estadísticamente.

### **5.3.3. Efecto del procesado mínimo de fresas en la Tasa de respiración**

Tanto la emisión de CO<sub>2</sub> como el consumo de O<sub>2</sub> pueden ser utilizados para medir la tasa respiratoria (TR). Para la determinación de la TR se utilizó un método estático, el cual consistió en colocar las muestras en un recipiente impermeable y cerrado (recipiente de vidrio) con una concentración de aire inicial conocida midiéndose directamente los cambios en las concentraciones internas de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> resultantes de la respiración después de un determinado periodo de tiempo. Además, a partir de la medición simultánea del intercambio gaseoso entre CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> es posible calcular el cociente respiratorio (CR), que es la relación entre las moléculas de CO<sub>2</sub> emitido y las moléculas de O<sub>2</sub> utilizado.

Las muestras se colocaron en un recipiente de vidrio de con un septum en la tapa para efectuar la medida de concentración de gases en el espacio de cabeza a diferentes tiempos, cerrado herméticamente para asegurar que no se produjeron cambios en la pauta respiratoria de las muestras y que los cambios en la composición del espacio de cabeza no produjeron alteraciones importantes en su metabolismo, se llevaron a una incubadora a 5, 10, 15 y 20 °C (Terlab). Las concentraciones en porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se midieron con un analizador automático (PBI Dansensor, Koch) que utiliza un detector de infrarrojos para el CO<sub>2</sub> (0.01-100%) y el O<sub>2</sub> es detectado por un sensor de estado sólido (0-100%). La muestra de gas (1-2 mL) fue succionada del espacio de cabeza por una jeringa a través de un septum cada 20 min durante 140 min. La tasa respiratoria (TR) (mL CO<sub>2</sub> ó O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) para ambos compuestos se obtuvo mediante la ecuación 2

$$TR = \frac{\alpha \cdot V}{M \cdot 100} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde  $\alpha$  es la pendiente de la variación de la fracción volumétrica en porcentaje obtenida de la representación frente al tiempo en horas en el intervalo de medición, V es el volumen del espacio de cabeza del recipiente en mL, y M es la

masa de las muestras en kilogramos. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

#### **5.3.4. Elección de la formulación de recubrimiento a base de mucílago de linaza: Efecto de la concentración de glicerol**

Se aplicó la formulación, elaborada (Etapa II) a base de mucílagos de linaza durante 3 minutos y posteriormente se secaron en las mismas condiciones antes descritas, posteriormente se envasaron en bolsas, las muestras fueron almacenadas a temperaturas de refrigeración 4°C y a una humedad relativa de 39%, se realizaron determinaciones cada tercer día para determinar características fisiológicas.

##### **5.3.4.1. Evaluación de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>**

##### **5.3.4.2. Tasa de respiración y Coeficiente respiratorio**

##### **5.3.4.3. Índice de decaimiento (IDC)**

Los síntomas por el deterioro causado por la presencia de hongos en los frutos se evaluó visualmente de acuerdo a la siguiente escala: 1= no dañado; 2= daño ligero (<25%); 3= daño moderado (>25% y < 50%); 4= daño severo (>50 y <75%) y 5= completamente dañado (75-100%).  $IDC = \sum (\text{nivel de daño}) \times (\text{No. De frutos de este nivel}) / \text{No. de frutos totales}$ .

##### **5.3.4.4. Microscopia Electrónica de Barrido**

Se utilizaron fresas sin pedúnculo y enteras que fueron enjuagadas e higienizadas con hipoclorito de sodio (2mg/L) durante 15min, eliminándose el exceso de agua-cloro por centrifugación, posteriormente se aplicaron los recubrimientos comestibles por inmersión (3min) y se secaron por convección (20°C/2hr), se cortaron pequeñas secciones de la zona externa que fueron desecada por dos métodos: 1. Técnica Specimen Preparation donde primero las muestras son deshidratadas con etanol gradual de 60 a 100%, posteriormente se fija y se lleva a punto crítico donde son secadas interior y exteriormente con (LCO<sub>2</sub>); 2. Temperatura ambiente. Estas muestras fueron recubiertas con oro a 100 Angstroms mediante un nebulizador de oro (Dentonvacuum), las muestras se analizaron en el microscopio electrónico (JEOLJFM-59LV) a 10kV, a 5, 10, 20 y 50µm.

### **5.3.5. Formulación y aplicación del recubrimiento comestible con un antimicrobiano**

Para la elaboración del recubrimiento se extrajo el mucílago de la semilla de linaza en una relación semilla-agua (2:10) a 40° C en baño maría durante 1 h con agitación a 1400 rpm (IKA RW20), posteriormente se separó la semilla de linaza del mucílago por filtración. Se formularon dos recubrimientos: mucílago + glicerol (0.5 mL)+ ascorbato de sodio (2g) (MGA) y mucílago + glicerol (0.5 mL)+ ascorbato de sodio (2g) + benzoato de sodio (0.1g) (MGAS). Los recubrimientos comestibles MGA y MGAS fueron aplicados a las fresas mediante inmersión (3 min), secadas por convección (20° C), empacadas (150 g) en bolsas Bolco® y almacenadas a 5° C para su posterior determinación microbiológica.

#### **5.3.5.1. Calidad microbiológica**

Se determinó en base al recuento de los microorganismos indicadores de condiciones de proceso: Mesófilos aerobios, Coliformes totales y Levaduras.

Las determinaciones microbiológicas se realizaron los días 0, 5, 10 y 15 de almacenamiento, a partir de 10 g de muestra con 90 mL de agua estéril homogeneizándose en un Stomacher (Seaward 400) durante 3 min, progresivamente se prepararon diluciones decimales y se vaciaron en los diferentes medios para el recuento de mesófilos aerobios (agar cuenta estándar, Bioxon), incubadas a 35±1° C por 48 h; de hongos y levaduras (agar papa dextrosa, Bioxon) incubadas a 25±1° C por 72 h y de coliformes totales (agar bilis rojo violeta, Bioxon) incubadas a 37±1° C por 24 h y recuento con el método Cec-Simplat® incubadas a 35±1° C por 24 h, registrando en todos los casos UFC/g. Los recuentos fueron analizados con el modelo modificado de Gompertz (Zwietering et al., 1990) utilizando el software SigmaPlot® versión 11.0:

$$y = k + A \exp \left\{ - \exp [(\mu_{\max} e / A)(\lambda - t) + 1] \right\} \quad (\text{Ec.3})$$

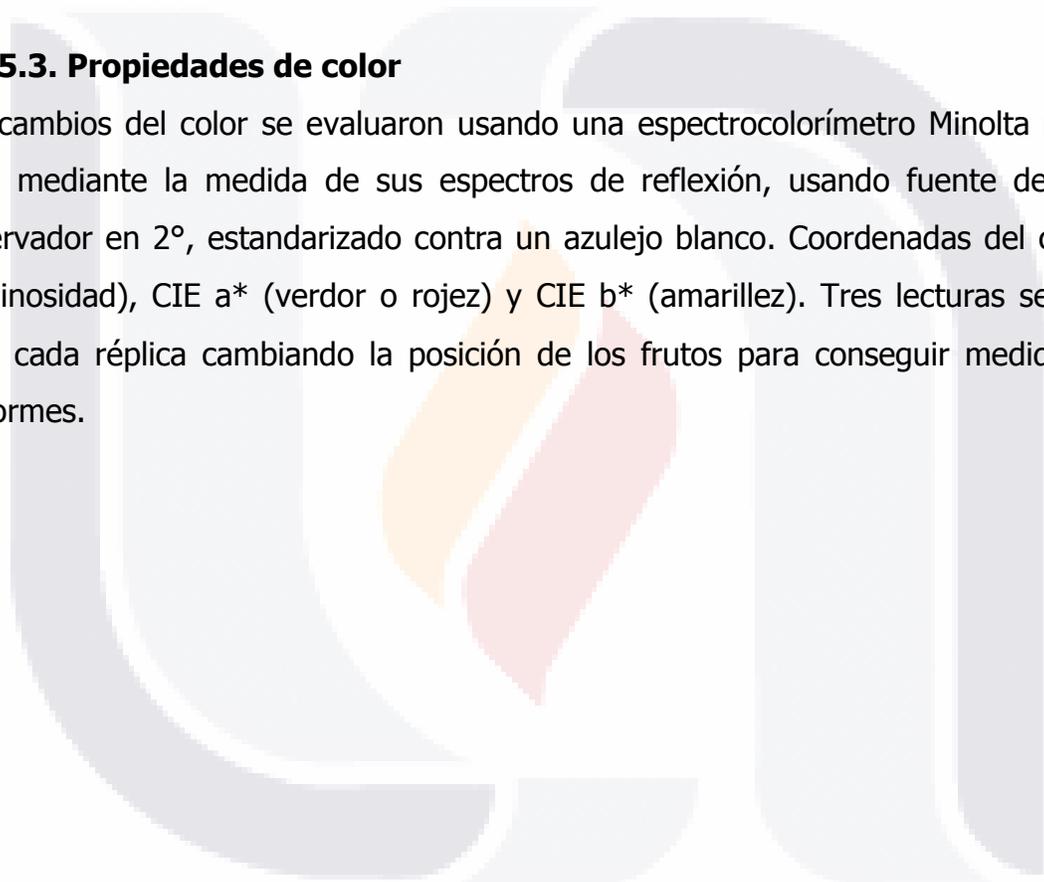
Donde: y; es log [UFC/g], k; es el valor inicial de la variable dependiente, A; es el crecimiento máximo alcanzado en la fase estacionaria,  $\mu_{\max}$ ; es la tasa de crecimiento máxima ( $\Delta \log[\text{UFC/g}]/\text{día}$ )  $\lambda$ ; es la fase de adaptación (días) y t; es el tiempo variable independiente.

### **5.3.5.2. Propiedades Mecánicas**

Se realizó un ensayo de punción, a temperatura ambiente (22°C) usando el texturómetro (Texture Analyser TA-XTplus, Inglaterra). Para ello se utilizó un embolo cilíndrico de 20 mm de diámetro con una célula de carga de 250 N, una velocidad del cabezal de 1.5 mm/s y una distancia de recorrido de 2 mm. se promedió la fuerza máxima obtenida en Newtons.

### **5.3.5.3. Propiedades de color**

Los cambios del color se evaluaron usando una espectrocolorímetro Minolta modelo CM-400; mediante la medida de sus espectros de reflexión, usando fuente de luz C y el observador en 2°, estandarizado contra un azulejo blanco. Coordenadas del color CIE L\* (luminosidad), CIE a\* (verdor o rojez) y CIE b\* (amarillez). Tres lecturas se obtuvieron para cada réplica cambiando la posición de los frutos para conseguir medidas de color uniformes.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Etapa I Extracción del mucílago

#### 6.1.1. Condiciones de extracción

Se aplicó el método de extracción para mucílago de linaza propuesto por O'Mullane (1992) con variaciones en concentraciones de semillas y temperaturas obteniendo como resultados la tabla 4 donde se muestra el rendimiento en húmedo.

Tabla 4. Porcentaje de rendimiento de extracción de mucílago de linaza

<b>Temperatura</b>	<b>10g</b>	<b>20g</b>	<b>30g</b>
<b>25°</b>	77.40	49.08	39.74
<b>40°</b>	65.81	49.62	35.79
<b>60°</b>	63.61	46.09	20.23
<b>80°</b>	39.55	32.44	4.92

Todas las concentraciones de semillas se pusieron en 100 mL de agua y fueron mantenidas en la temperatura por 1 hora

#### 6.1.2. Elección del método óptimo

De acuerdo con las diferentes condiciones de extracción de mucilago se obtuvo que el método más adecuado fue la relación 20g en 100mL a 40°C por 1 hora, ya que en ésta extracción se obtuvo una alta cantidad de mucílago y no se encuentra tan diluido como en el caso de la relación 10g en 100mL a 25° que aunque tienen un mayor rendimiento 77.4 y 63.63% respectivamente el mucílago se encuentra muy diluido y tendría que aplicarse otro tratamiento para concentrarse. El mucilago obtenido a 40°C, presenta con un color traslucido que no afecta el color original del fruto al momento de aplicarlo, en el caso de los mucílagos obtenidos a 60° y 80°C presentan pardeamiento por las reacciones de polisacáridos al aplicar calor. Alix *et al.* (2008) encontraron que la temperatura de la extracción influencia la composición de azúcares de los polímeros, ácido galacturónico y ramnosa fueron las más abundantes a baja temperatura, es decir, de 20 a 40°C.

### 6.1.3. Caracterización del mucílago de linaza

La tabla 5 muestra la composición del mucílago de linaza extraído 20g en 100mL a 40°C, donde se observa que el agua es el componente mayoritario, sin embargo los carbohidratos por diferencia reflejan los polisacáridos presentes como ácido d-galacturónico, L-ramnosa, L-galactosa y d-xilosa, que darán la función del recubrimiento, la proteína que contiene también puede formar parte del recubrimiento aunque su concentración es mínima, algunos autores como Tapia *et al.*, 2007 han realizado recubrimientos de gelana con solo el 0.5% de polímero; la cantidad de grasa presente prácticamente es insignificativa ya que si bien la semilla de linaza es rica en ácidos grasos, estos no son extraídos de ella con el método empleado.

Se realizó la caracterización fisicoquímica del mucílago, en la tabla 6 se observan los resultados donde se puede ver que el pH es cercano a 5 y éste no afectará en un recubrimiento ya que a ese pH presenta estabilidad la solución, Algunos autores Chunran *et al.*, (2005); Shon & Haque, (2007) utilizan recubrimientos con valores de pH 4.5-6.5 pues tiene un buen funcionamiento. El aw es alta pues se trata de un producto fresco sin embargo puede variar al estar en combinación con otros componentes del recubrimiento, finalmente el recubrimiento presenta una acidez muy baja.

Tabla 5. Caracterización bromatológica de de mucílago de linaza 40°C, 20%

<b>Parámetro</b>	<b>Valor obtenido</b>		
Proteína cruda (%)	0.0393	±	0.0005
Grasa cruda (%)	0.0005	±	0.000
Humedad (%)	99.33	±	0.0058
Carbohidratos por diferencia (%)	0.6248	±	0.01516

Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas de mucílago de linaza 40°C, 20%

<b>Parámetro</b>	<b>Valor obtenido</b>		
<b>pH</b>	5.5333	±	0.0577
<b>aw</b>	0.9969	±	0.0002
<b>Acidez titulable (%)</b>	0.0416	±	0.0055

## **6.2. Etapa II. Desarrollo de recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza**

Se evaluaron tres formulaciones de mucílago de linaza con concentraciones de glicerol al 0.1, 0.2 y 0.3%.

### **6.2.1. Evaluación de las propiedades reológicas del recubrimiento de mucílago de linaza**

Propiedades viscoelásticas.

Para estudiar el comportamiento viscoelástico del mucílago de linaza se realizaron pruebas de cizalla oscilatoria en un intervalo de frecuencia angular de 1 a 100 rad/s a una amplitud de onda dentro de la zona de viscoelasticidad lineal. Para las tres formulaciones con 0.1, 0.2 y 0.3% de glicerol el módulo de pérdida ( $G''$ ) y el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) mostraron gran dependencia de la frecuencia;  $G' \propto \omega^{0.544}$  (Fig. 4). En las muestras con 0.1 y 0.3% de glicerol hubo congruencia entre  $G'$  y  $G''$  ( $\tan \delta = 1$ ) hasta una frecuencia angular de 5 y 6.3 rad/s, respectivamente, por lo que en esa zona el carácter viscoso y el elástico son iguales. A mayores frecuencias  $G'$  fue mayor que  $G''$  mostrando un comportamiento elástico; en el caso de la muestra con 0.2% de glicerol  $G'$  siempre fue mayor, mostrando por tanto un carácter elástico en el intervalo de frecuencia de 1 a 100 rad/s. Fennema, (1993) reporta que todos los polisacáridos solubles producen soluciones viscosas a causa de su gran tamaño molecular, pero esto no es una regla ya que depende de muchos factores como la concentración de macromolécula, peso molecular, distribución de pesos moleculares y naturaleza química así como condiciones del medio ambiente como pH y fuerza iónica. Por otro lado la ausencia de cruzamiento en los módulos  $G'$  y  $G''$  sugiere la presencia de una solución concentrada, es decir, cuya concentración de mucílago es superior a la concentración de traslape, es decir, de entrecruzamiento entre cadenas poliméricas.

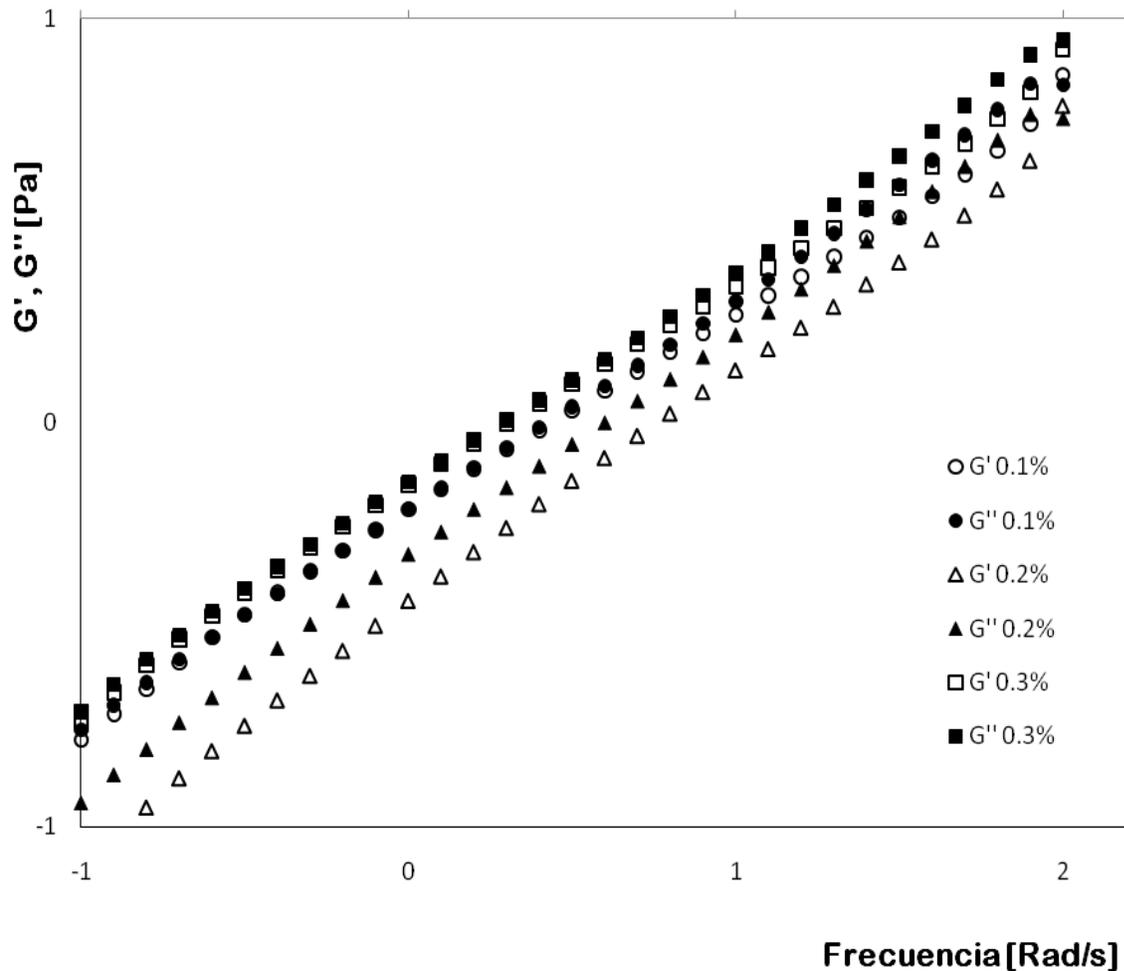


Figura 4. Espectros dinámicos de mucílago de linaza con tres concentraciones de glicerol a 25 °C. G' (símbolos vacíos), G'' (símbolos llenos).

En la Figura 5 se observa la  $\tan \delta$  también útil para describir también el comportamiento viscoelástico. Para las tres formulaciones con 0.1, 0.2 y 0.3% de glicerol, los valores de la tangente van disminuyendo para frecuencias inferiores a 10 rad/s haciendo más pronunciado el carácter elástico, después, los ángulos de desfase son mayores indicando una tendencia a un carácter viscoso para frecuencias superiores que se mantiene prácticamente constante, aunque se muestran más elásticas las concentraciones con 0.1 y 0.3% de glicerol.

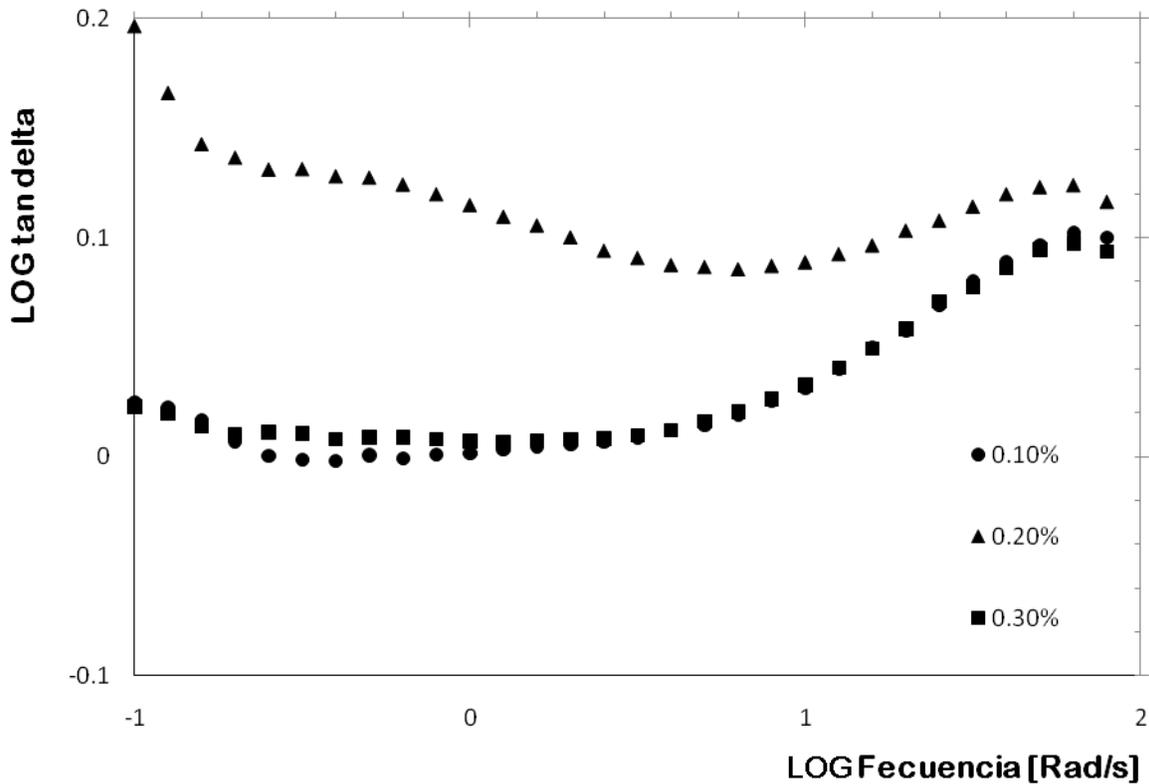


Figura 5. Tangente delta de mucílago de linaza con tres concentraciones de glicerol a 25°C.

### 6.2.2. Evaluación de características mecánicas, microestructurales y de transporte de vapor de agua

Las determinaciones de espesor, fuerza de fractura, deformación y de transporte de vapor de agua se realizaron a 25°C, la observación en microscopia se realizo a 15°C.

#### 6.2.2.1. Determinación de espesor y propiedades mecánicas de películas de mucílago de linaza

Las películas de mucílago de linaza con 10 y 15 mL que fueron extendidas en cajas petri secadas a 25°C por 48 horas, se despegaron y resultaron transparentes y homogéneas con superficie lisa y brillante; teniendo espesores promedio de  $0.0278 \pm 0.00042$  mm y  $0.0341 \pm 0.00025$  mm respectivamente. Por lo que se puede ver que la cantidad de mucílago extendido modifica significativamente el espesor lo que puede influir en la fuerza

de fractura. La determinación del espesor es un factor importante en la determinación de tensión y deformación.

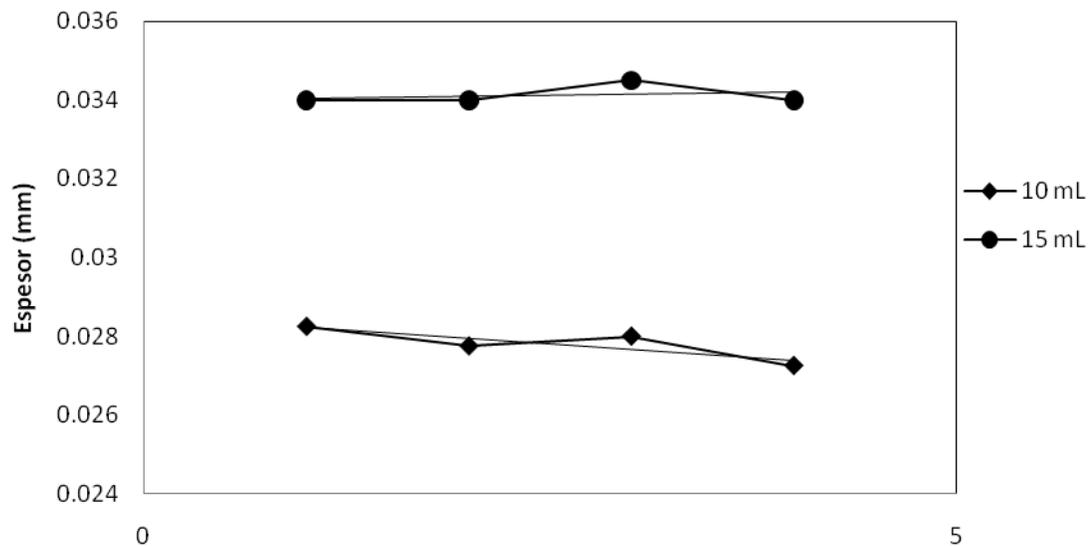


Figura 6. Uniformidad de recubrimientos comestibles de mucílago de linaza

En la Figura 7 se observa el comportamiento de una película durante la prueba de extensión. Existe una zona inicial de deformación elástica en la que el esfuerzo es proporcional a la deformación de acuerdo con la ley de Hooke;  $\sigma = E\varepsilon$ , donde  $\sigma$  representa el esfuerzo de tracción,  $\varepsilon$  la deformación unitaria y  $E$  el módulo de Young del material. El punto máximo corresponde al momento en que se rompe la película y la posterior disminución es la ruptura subsecuente en la que ya no es posible recuperar su forma original. La pendiente en la zona inicial lineal es el módulo de elasticidad o módulo de Young.

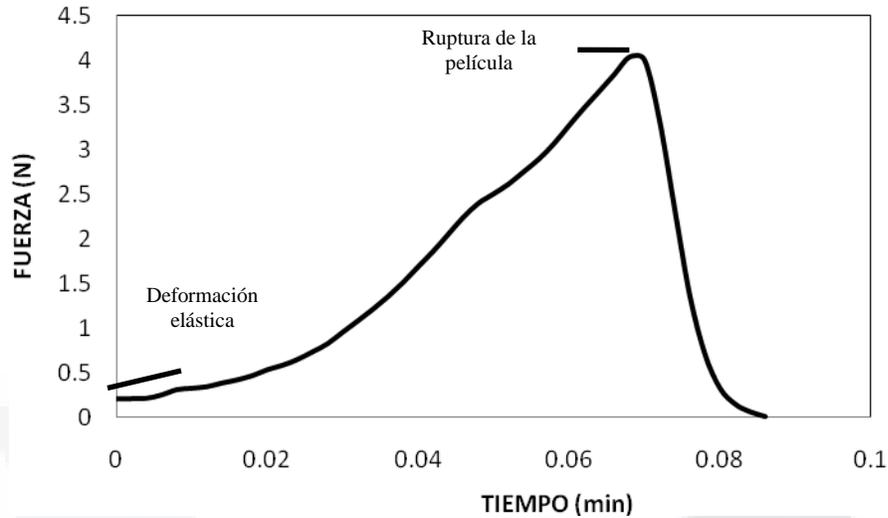


Figura 7. Señal carga-tiempo durante fuerza de fractura de película de linaza + 3% de glicerol (v/v)

La Tabla 7 muestra el esfuerzo de fractura de películas con dos volúmenes de recubrimiento extendido y tres concentraciones de glicerol; 0.1, 0.2 y 0.3%. El área de aplicación de la fuerza está dada por el ancho y el espesor de las películas. El esfuerzo para fracturar las películas fue mayor con 15 mL de recubrimiento y 0.3% de glicerol debido a que el plastificante aumenta la flexibilidad por ser una molécula de bajo peso molecular que se incorpora a las cadenas de los polisacáridos que forman el mucílago de linaza y reduce las fuerzas intermoleculares. En general, conforme aumentó la concentración de glicerol se requirió un esfuerzo mayor para la ruptura, los diferentes volúmenes de recubrimiento utilizados para las películas también requieren diferentes esfuerzos de fractura. Se muestran también los módulos de Young calculados a partir de la pendiente de la primera zona de la curva de esfuerzo contra deformación; conforme aumentó la concentración de glicerol aumentaron los módulos de Young por la acción del plastificante, disminuye la tracción y aumenta la tensión (Shi *et al.*, 2006).

Tabla 7. Propiedades mecánicas de películas de mucílago de linaza

<b>Película</b>	<b>Esfuerzo de fractura (Pa)</b>	<b>Modulo de Young (Pa)</b>
<b>10mL 1glicerol</b>	132.69 ± 3.66 C.V. = 13.9%	851.15 ± 73.7 C.V. = 21.38%
<b>10mL 2 glicerol</b>	168.89 ± 40.33 C.V. = 15.8%	733.88 ± 120.6 C.V. = 7.4%
<b>10mL 3 glicerol</b>	184.67 ± 63.13 C.V. = 17.3%	891.28 ± 27.5 C.V. = 14.35%
<b>15mL 1 glicerol</b>	239.13 ± 6.36 C.V. = 23.6%	1374.12 ± 249.1 C.V. = 21.56%
<b>15mL 2 glicerol</b>	228.97 ± 15.49 C.V. = 11.2%	1401.40 ± 107.4 C.V. = 16.5%
<b>15mL 3 glicerol</b>	399.95 ± 29.19 C.V. = 21.4%	1887.93 ± 161.3 C.V. = 19.27%

### 6.2.2.3. Transporte de vapor de agua

Se midió la actividad de agua de los recubrimientos 0.1, 0.2 y 0.3% dando como resultado  $0.284 \pm 0.012^a$ ,  $0.304 \pm 0.013^b$  y  $0.3423 \pm 0.007^c$  respectivamente lo que muestra que hay diferencia significativa entre las muestras.

Las propiedades barrera de las películas varían con el espesor de las mismas, ya que el espesor determina la distancia que el permeato (vapor de agua y gases) debe recorrer para difundir de un lado a otro de la película (Ben-Yehoshua, 1967; Meheriuk y Lau, 1988; Hagenmaier y Shaw, 1992; Hagenmaier y Baker, 1993; Park et al, 1994). El espesor que presentan las películas en mm fue  $0.035 \pm 0.002^a$ ,  $0.039 \pm 0.002^b$  y  $0.032 \pm 0.003^c$  respectivamente.

#### 6.2.2.3.1. Isotherma de sorción

La relación entre la humedad de las muestras y su actividad del agua constituye la isoterma de sorción, la cinética de sorción de agua de la película mucílago de linaza está representada en la figura 8 mostrando la relación de humedad y su actividad de agua. La incorporación de glicerol al mucílago supuso una modificación de las relaciones humedad y aw. La figura muestra el aumento del peso de la película. Se observa una ganancia con un ritmo más lento en las primeras aw correspondiente a la menor ganancia de peso, mientras que después de 0.65 aw la ganancia de peso es mayor, la película de mucílago de linaza + 0.3% glicerol presenta la mayor ganancia de agua cerca de 0.8 aw. Por lo tanto se llega a humedades de equilibrio mayores en mucílago con glicerol que las correspondientes al mucílago solo, por las interacciones que hay de glicerol con el agua donde conduce el grupo hidroxilo y las películas se hace menos densas, facilitando la difusión de las moléculas de agua a través de ella. Las películas de mucílago de linaza presentan un comportamiento típico de las isotermas de sorción, en ésta tenemos una zona I donde se lleva a cabo la adsorción de una capa monomolecular de agua, una zona II donde sigue habiendo adsorción de agua pero aumenta la dilución y difusión de las molécula por lo tanto disminuye la adsorción monomolecular.

Alix *et al.* (2008) vio que el mucílago extraído a 40°C tarda más en alcanzar la media de absorción por cualquiera de los valores aw debido a su alto contenido de proteínas y estas proteínas fueron extraídos en grandes cantidades a 40 ° C que a temperatura ambiente. En consecuencia, la absorción de la agua por los compuestos se reduce al utilizar mucílago extraído a 40°C y con el uso de glicerol.

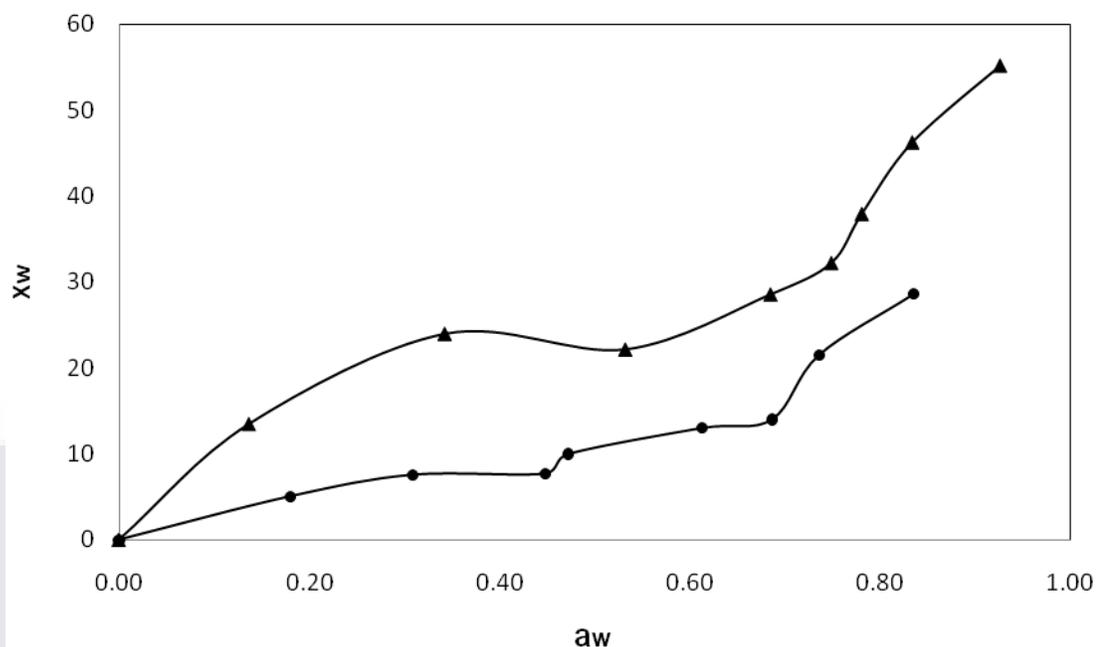


Figura 8. Isotherma de sorción a 20°C de película mucílago de linaza (círculos) y película mucílago de linaza + 0.3% glicerol (triángulos) (v/v).

Las ecuaciones utilizadas modelaron correctamente datos experimentales; como se observa en la tabla 8 por los buenos ajustes obtenidos en las ecuaciones de BET y GAB. Según el modelo de BET el valor C o fuerza de enlace de las moléculas de agua a los grupos activos de la película, muestran un efecto relevante del glicerol que disminuye comparado con mucílago solo lo cual puede indicar que las moléculas son adsorbidas con menos energía.

Tabla 8. Constantes de los Modelos BET y GAP aplicados y coeficiente de correlación para película mucílago de linaza y película mucílago de linaza + 0.3% glicerol (v/v)

Modelo	Constantes	Mucílago	Mucílago + 0.3% glicerol
<b>BET</b>	C	85.16	12.76
	R2	0.961	0.969
<b>GAB</b>	C	7.56	22.70
	K	1.11	0.78
	R2	0.911	0.963

### 6.2.2.3. Microscopía electrónica de barrido

Las micrografías de microscopía electrónica de barrido de las películas comestibles de mucílago de linaza con tres concentraciones de glicerol, 0.1, 0.2 y 0.3% se observan en la figuras 9. En general las películas de mucílago de linaza mostraron una estructura áspera, heterogénea y caracterizada por la presencia de numerosos poros, por la adición del glicerol, en la figura con 0.3% se pueden ver mayor número de gránulos que en la de 0.1%; Bosquez (2005) reporta microfotografías con morfologías granulosa por la incorporación de glicerol y sorbitol.

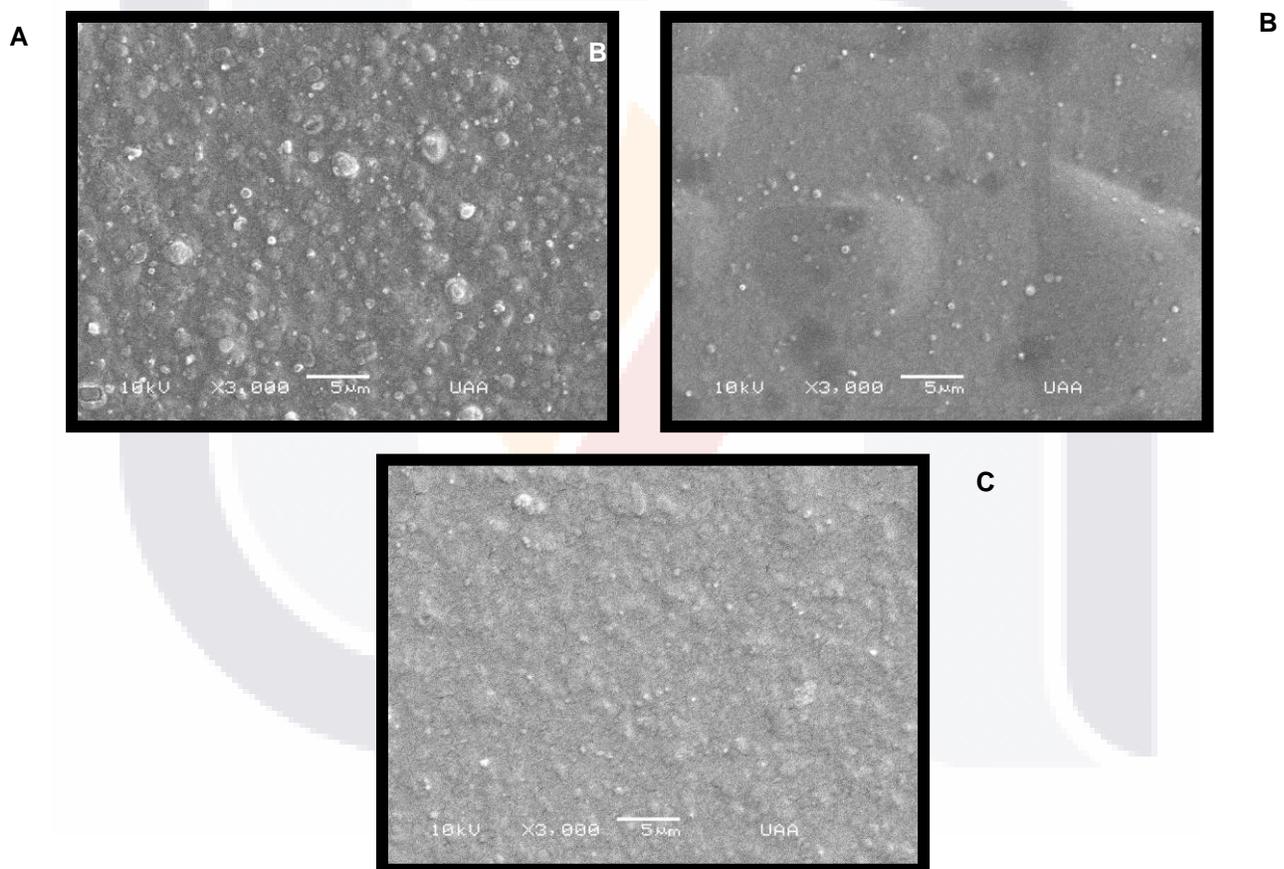


Figura 9. Microfotografías SEM de película de mucílago de linaza con (A) 0.1, (B) 0.2% y (C) 0.3% glicerol (v/v).

### 6.3. Etapa III. Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza en fresa mínimamente procesada

#### 6.3.1. Caracterización de la materia prima

Las fresas utilizadas en este estudio se caracterizaron en los parámetros mostrados en la tabla 9 observándose, valores similares que han sido reportados previamente para diversas variedades de fresas (Manning, K., 1993). Por lo tanto las fresas utilizadas tuvieron parámetros normales de postcosecha.

Tabla 9. Caracterización fisicoquímica de fresa.

Parámetro	Valor obtenido
Humedad (%)	79.03±0
aw	0.988±0.001
pH	3.25±0.07
Acidez titulable (%)	0.66±0.04
Sólidos solubles totales(°Brix)	5.86±0.05

#### 6.3.2. Efecto del tiempo de inmersión de la fresa en el recubrimiento

Una vez que se tuvieron las fresas tratadas mínimamente se sometieron a aplicación de recubrimiento a diferentes tiempos de inmersión para determinar el tiempo de inmersión del recubrimiento; se realizaron tres inmersiones a 3, 5 y 10 minutos además se tuvieron muestras control (fresa sin procesado mínimo) y muestra blanco (fresa procesada mínimamente pero sin recubrir).

##### 6.3.2.1. Evaluación de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

La calidad de las fresas recubiertas y almacenadas fue monitoreada durante su almacenamiento a 5°C, midiendo la concentración en el espacio de cabeza de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

En el primer monitoreo donde se comparó el tiempo de inmersión en fresas cubiertas con mucílago de linaza y almacenadas por 8 días a 5°C (Figuras 10 a 14) se obtuvo que hay una mayor producción de CO<sub>2</sub> en las fresas sanitizadas y en las control, mientras que las que llevaron el recubrimiento de mucílago de linaza a diferentes tiempos T1= 3 minutos, T2=5 minutos y T3=10 minutos la producción de CO<sub>2</sub> fue cercana a 1%, lo mismo sucedió con el O<sub>2</sub> que se mantuvieron en 20.4, 20.6 y 20.5% para los tratamientos 1,2 y 3

respectivamente, mientras que para las fresas sanitizada y control 20 y 20.1% respectivamente. No hubo una variación muy marcada ya que las fresas fueron empacadas en charolas de polietileno que permitían el intercambio de gases, sin embargo se aprecia una leve diferencia.

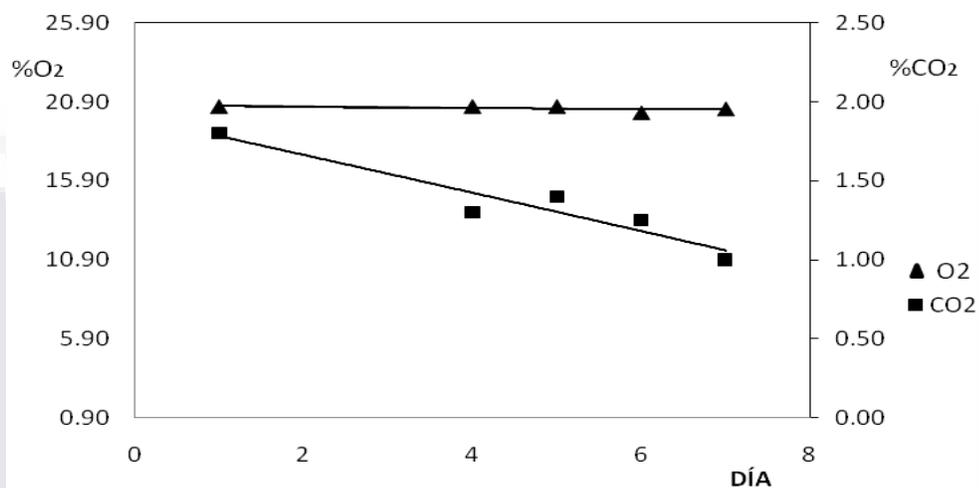


Figura 10. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa con Tratamiento 1

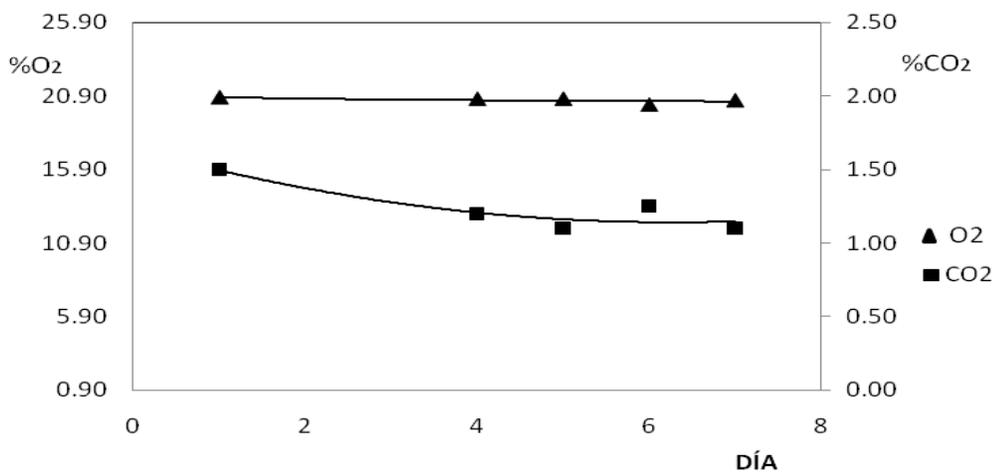


Figura 11. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa con Tratamiento 2

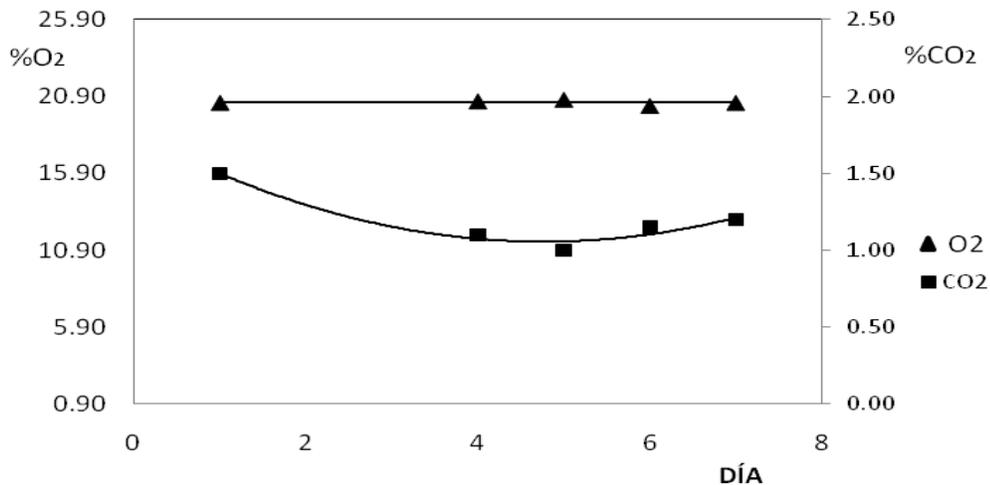


Figura 12. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa con Tratamiento 3

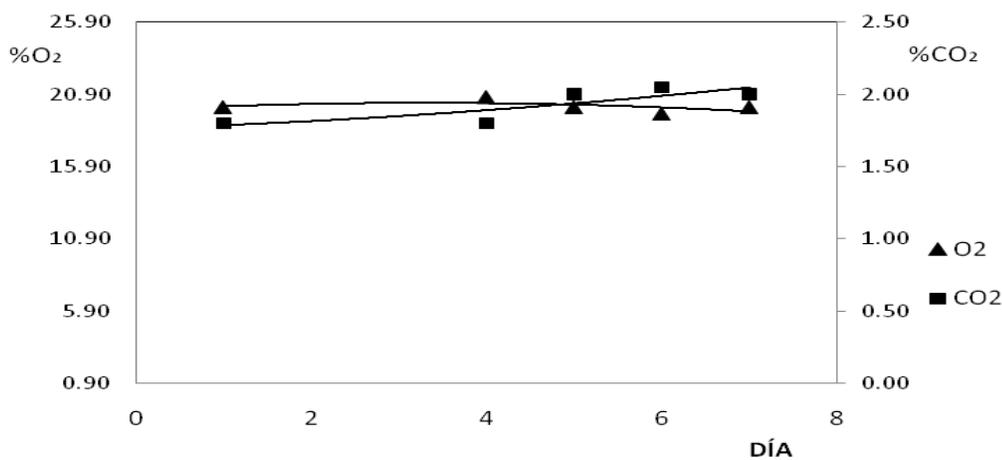


Figura 13. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa sanitizada

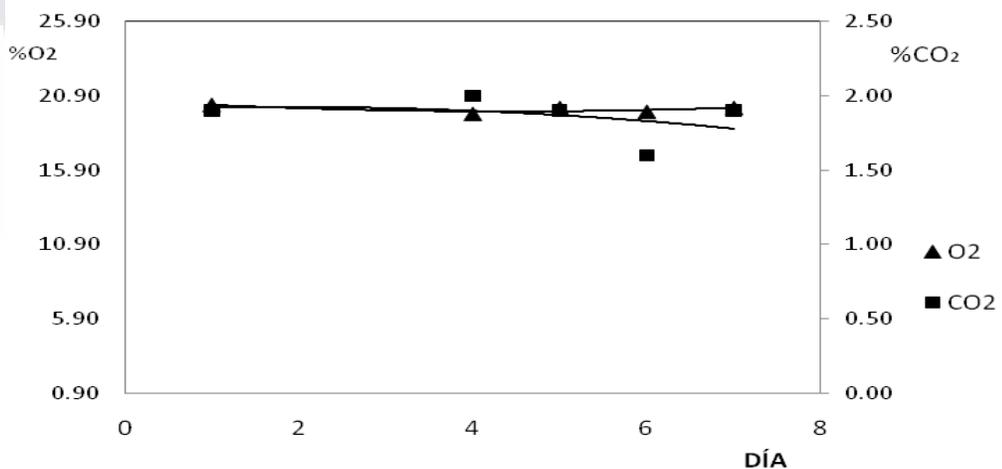


Figura 14. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa control

**6.3.2.2. Pérdida de peso**

Durante el almacenamiento de las fresas hubo una pérdida de peso debido a la transferencia de vapor de agua de las fresas almacenadas hacia el entorno, los resultados se muestran en la figura 15 donde se puede ver que las fresas que perdieron más peso fueron los tratamientos 1, 2 y 3 presentando pérdidas de 2.74, 2.86 y 2.36% respectivamente mientras que la blanco y la control solo perdieron 1.75 y 1.84%; esta pérdida de peso se debe a la pérdida de agua que no puede controlar el mucílago ya que no presenta una buena barrera por sí solo.

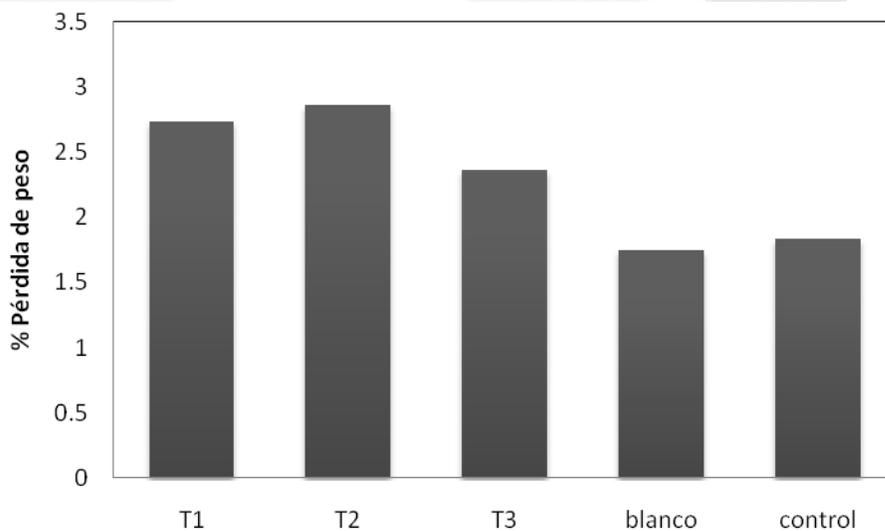


Figura 15. Pérdida de peso de fresa almacenada durante siete días a 5°C

**6.3.2.3. Firmeza**

Las fresas fueron sometidas a prueba de resistencia a la penetración (figura 16) antes de ser almacenadas y al término (7 días) obteniendo los resultados que se presentan en la figura 16 donde se aprecia que las fresas perdieron resistencia de manera homogénea esto es atribuido a la pérdida de humedad que como se mencionó no puede controlar el recubrimiento solo con el mucílago de linaza y por tanto pierden flacidez en sus estructuras. Sin embargo se puede observar que en el tratamiento 3 (al día 7) hay una menor resistencia comparada con las fresas que no fueron recubiertas, lo cual se atribuye que con mayor tiempo el recubrimiento puede tener una migración al interior de la fresa.

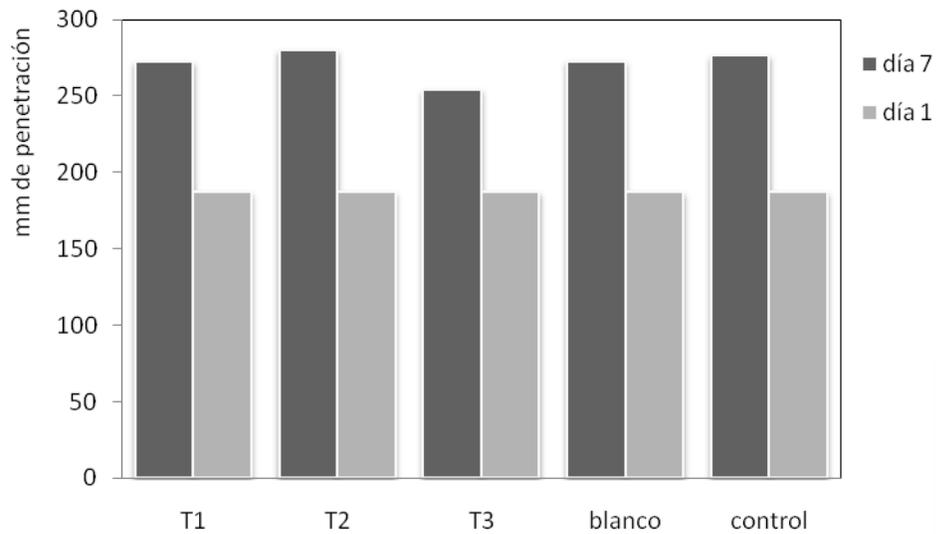


Figura 16. Resistencia a la penetración de fresas almacenadas a 5°C.

#### 6.3.2.4. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó con jueces no entrenados es decir con consumidores. Se evaluaron las fresas a los 12 días de almacenamiento, los resultados a la evaluación se muestran en la figura 17 en la cual se puede ver que los consumidores eligieron la muestra T2 con mayor frecuencia para tres de los cuatro parámetros evaluados: apariencia, brillo y color; sin embargo la muestra T3 tuvo una mayor preferencia de compra, así mismo la muestra control no tuvo ninguna aceptación por parte de los evaluadores ya que en ningún parámetro fue elegida como era de esperarse pues presentaba características indeseables, como lo muestra la figura 3A anexo.

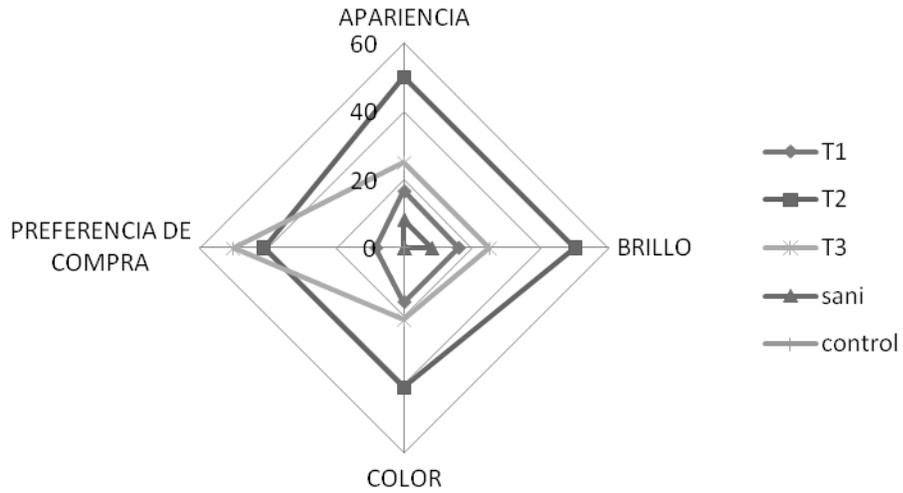


Figura 17. Resultados de evaluación sensorial de muestras de fresa recubierta a tres tiempos de inmersión. T1: 3, T2: 5 y T3: 10 minutos.



Figura 18. Fresas día 0 y día 7 con y sin mucílago.

### 6.3.3. Efecto del procesado mínimo de fresas en la TR

Las frutas respiran absorbiendo oxígeno de la atmósfera y liberando dióxido de carbono a la atmósfera. Las tasas de respiración se determinaron a diferente temperatura mediante la medición de  $O_2$  y  $CO_2$  del espacio de cabeza del frasco impermeable. Para la tasa de respiración del  $CO_2$  (Figura 19) se obtuvo que a  $25^\circ C$  se presenta una mayor tasa de

respiración para todos los tratamientos y para 20°C la menor tasa de respiración de CO<sub>2</sub> según Mitchell, *et. al.*, (1996), las fresas deben presentar una TR a 10°C de 25 a 50 kg-1 h-1 y a 20°C de 50 a 100 kg-1 h-1 por lo que de acuerdo con los resultados en ambos casos las fresas están dentro de estos rangos. Por otro lado lo que se puede ver en la Figura 20 es que las fresas también tienen una TR mayor a 25°C y menor a 20°. En ambos casos se puede ver que las fresas que fueron tratadas mediante un procesamiento mínimo presentan valores mayores que las que fueron procesadas y recubiertas esto debido a que durante el procesamiento mínimo sufren estrés celular ocasionado por las operaciones de manipulación que provocan alteraciones en su fisiología (Brecht, 1995); esto se reduce con la aplicación del recubrimiento, sin embargo a 5 y 10°C los valores de la TR del O<sub>2</sub> son parecidas en la fresa sin lavar y en la fresa cubierta por lo que se puede decir que las fresas recubiertas y a 5°C es decir temperatura de refrigeración tiene la misma TR pero las fresas recubiertas presentan una mejor apariencia después del almacenamiento como se ve en la Figura 20.

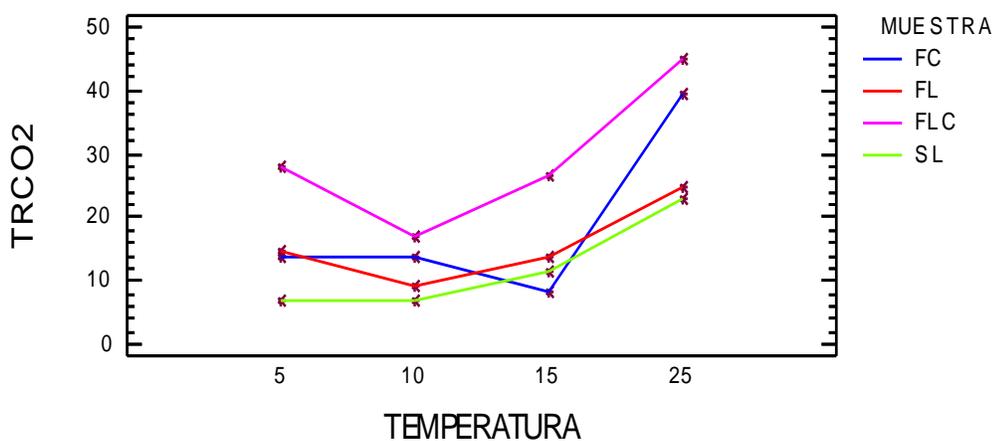


Figura 19. Tasa de Respiración de CO<sub>2</sub> de fresa mínimamente procesada a distintas temperaturas de almacenamiento. FC: fresa cubierta, FL: fresa lavada, FLC: fresa lavada y cortada, SL: fresa sin lavar

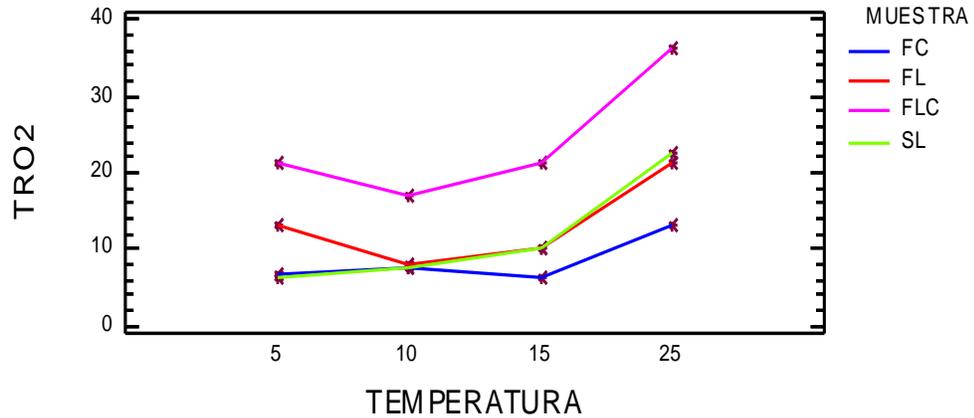


Figura 20. Tasa de Respiración de O<sub>2</sub> de fresa mínimamente procesada a distintas temperaturas de almacenamiento. FC: fresa cubierta, FL: fresa lavada, FLC: fresa lavada y cortada, SL: fresa sin lavar

### 6.3.4. Efecto de la concentración de glicerol

Fueron cubiertas fresas con tres formulaciones de mucílago de linaza más 0.1, 0.2 y 0.3% de glicerol y almacenadas a 5 °C.

#### 6.3.4.1. Evaluación de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

Se obtuvieron los resultados que se muestran en las figuras 21 a 25 desde la fresa sin lavar (SL), fresa lavada (FL) y formulaciones 0.1, 0.2 y 0.3%; en todos los casos como es de esperarse se presenta un aumento en el porcentaje de CO<sub>2</sub>, sin embargo, la disminución en la producción del CO<sub>2</sub> es un efecto global observado en frutos tratados con recubrimientos comestibles tal como lo ha comprobado Maftoonazad y Ramaswamy (2005) en aguacate y Lee et al. (2003) en manzana, se aprecia que hay un mayor aumento en las fresas lavadas presentando una concentración de CO<sub>2</sub> (9.6%) con una menor concentración (4.9%) en la formulación 0.1% la misma que presenta mayor concentración de O<sub>2</sub>.

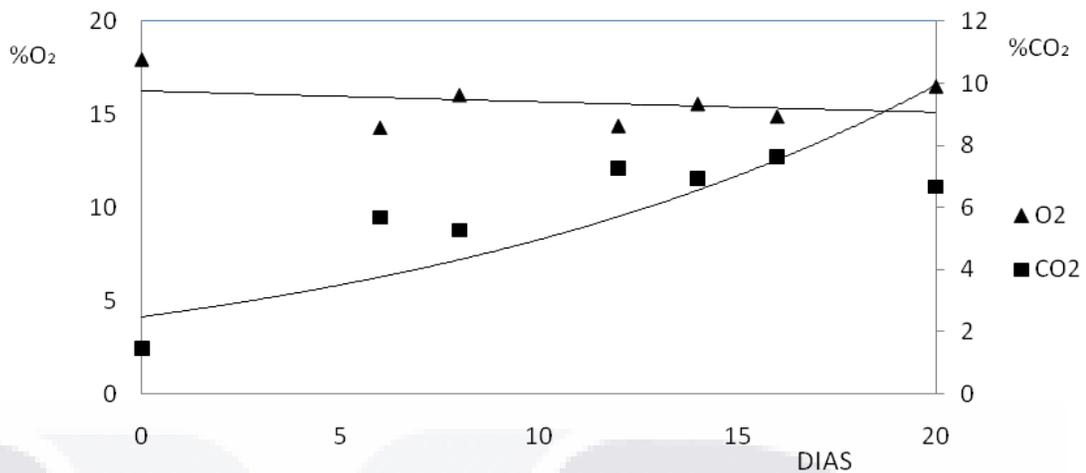


Figura 21. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa sin lavar

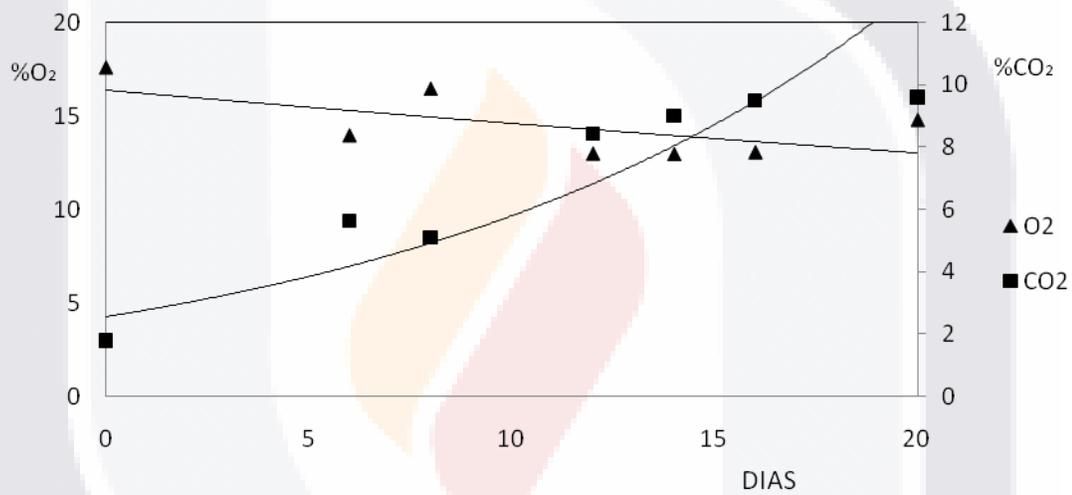


Figura 22. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa lavada

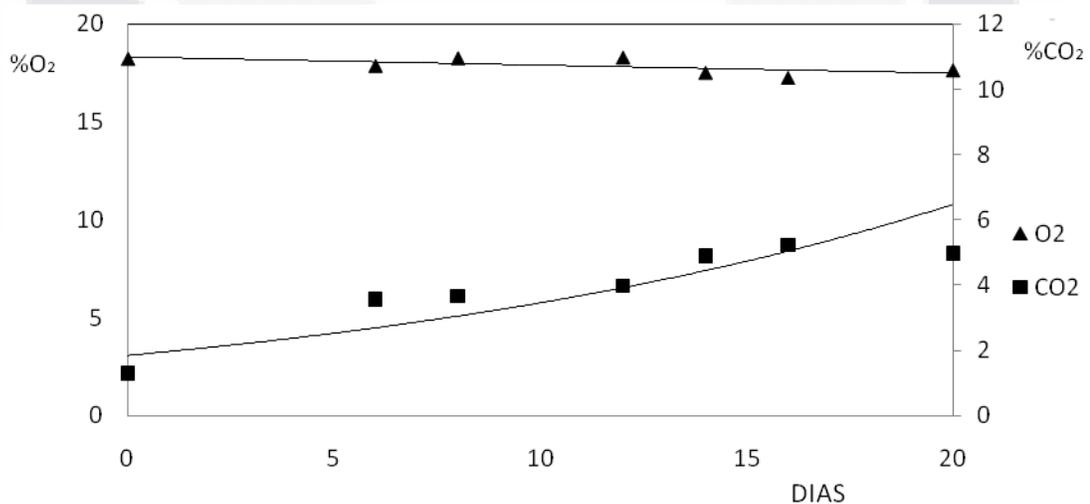


Figura 23. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa con mucílago y 0.1% glicerol.

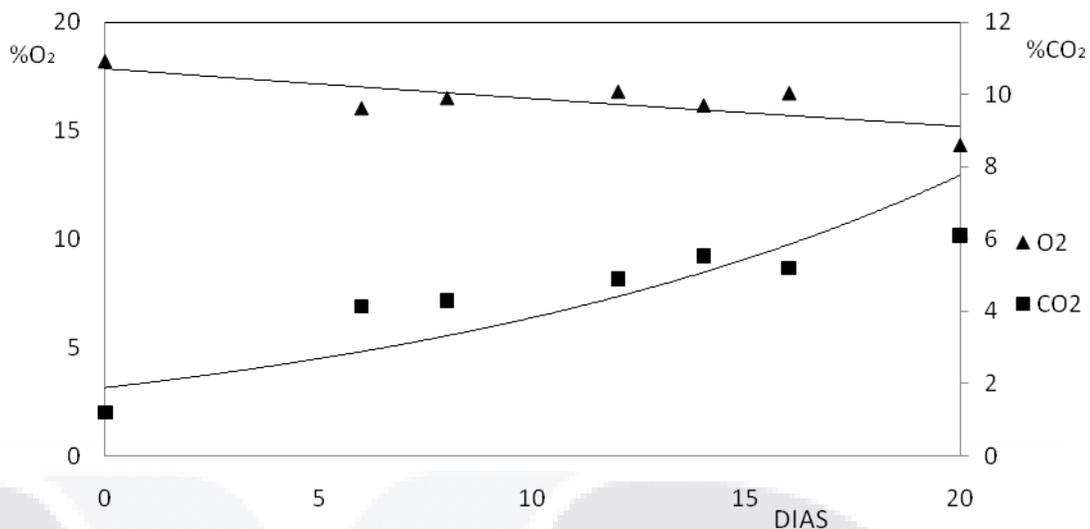


Figura 24. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa con mucílago y 0.2% glicerol

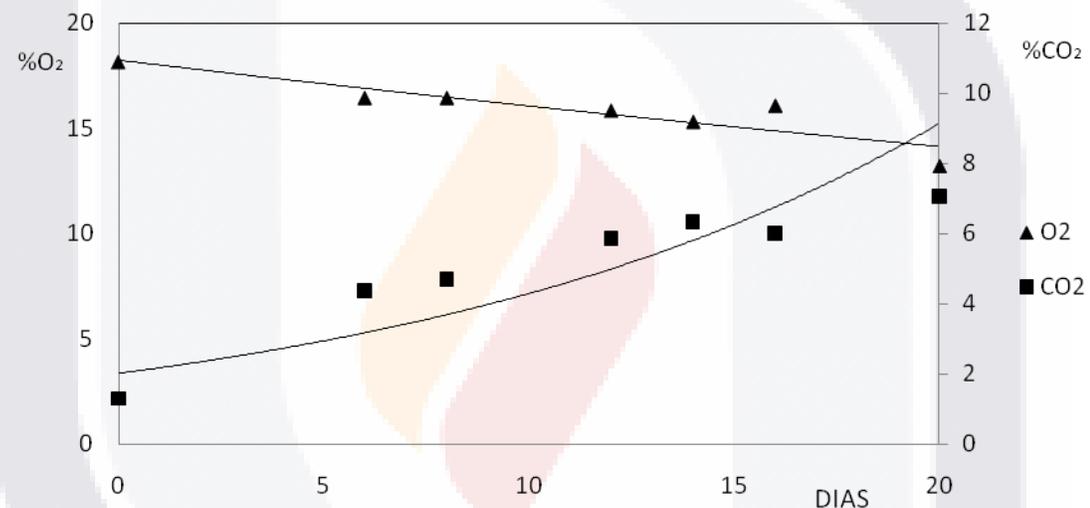


Figura 25. Porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa con mucílago y 0.3% glicerol

#### 6.3.4.2. Tasa de respiración y Coeficiente respiratorio

Para la determinación de las tasa de respiración (TR) de las fresas fueron aplicadas las tres formulaciones (0.1, 0.2 y 0.3% de glicerol), se observa (figura 26) que las formulaciones 0.2 y 0.3% mantuvieron una menor concentración de O<sub>2</sub> y por tanto una menor TR  $18.6 \pm 0.3$  y  $17.1 \pm 0.26$  respectivamente, es decir el aumento en la respiración fue menor ya que presentaron valores más cercanos a los del inicio de la medición, esto es traducido en una vida útil mayor, por el contrario a mayor tasa de respiración se espera un deterioro más elevado en la calidad del fruto (Martínez et al., 2006), tal es el caso de la formulación con 0.1% que presentó valores similares a los de las muestras sin tratamiento (fresas sin lavar (SL) y fresas mínimamente procesadas (FL),  $28.5 \pm 0.85$ ,

27.57±2.8 y 24.37±0.04 respectivamente lo que indica que la formulación 0.1% no produce diferencia en cuanto a mantener la TR de O<sub>2</sub> de la fresa. Para la TR de CO<sub>2</sub> la fresa que no tuvo ningún tratamiento presenta valores mayores 38.33±0.8 encontrándose diferencia significativa con las fresas recubiertas con mucílago y 0.2 y 0.3% de glicerol (32.62±0.1, 31.49±0.94 respectivamente), trayendo como consecuencia una mayor vida útil al tener una menor TR. Cabe mencionar que según la Ley Van ´t Hoff por cada 10°C de incremento, la respiración se multiplica por 2 o 3 y ya que la fresa a pesar de ser un fruto no climatérico es recomendable que se almacene a temperaturas cercanas a los 5°C (Mitchell *et. al.*,1996) se ve afectada la TR al determinarse a 20°C, sin embargo todos los tratamientos entran el valores reportados por el mismo autor (20-50 mL CO<sub>2</sub>/kg•h). Por otro lado el cociente respiratorio CR es la relación del CO<sub>2</sub> producido entre el O<sub>2</sub> consumido, su determinación orienta sobre el tipo de sustrato que está siendo respirado; en la figura 27 se puede observar que el CR es mayor a 1 lo que podría indicar que no está siendo metabolizada la glucosa así como no se está llevando a cabo una respiración aeróbica sino anaeróbica o bien una fermentación, sin embargo la presencia de altas concentraciones de O<sub>2</sub> indica que si hay respiración aerobia.

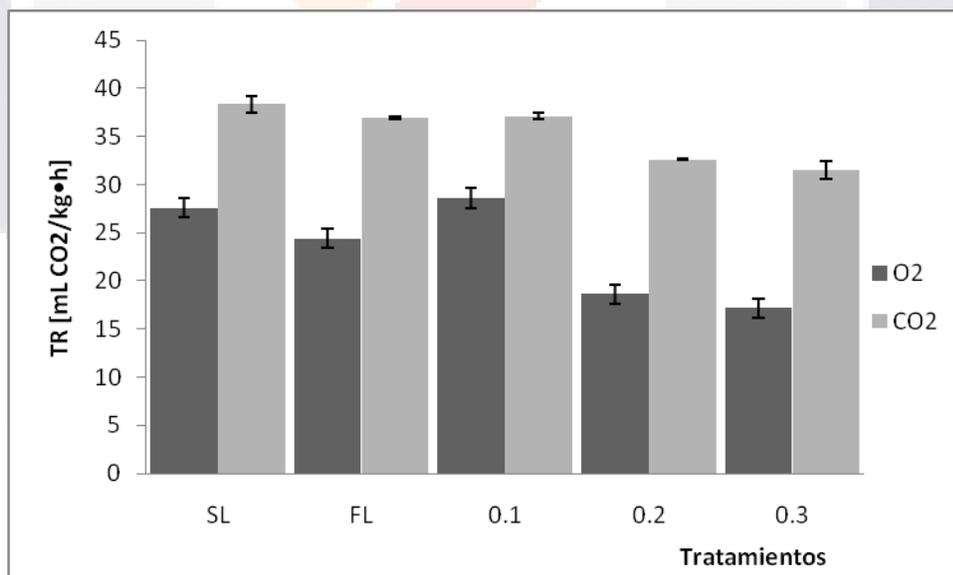


Figura 26. Tasa de Respiración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de fresa a 20°C con distintos tratamientos. (SL: fresa sin lavar, FL: fresa sanitizada, 0.1, 0.2, 0.3% de glicerol)

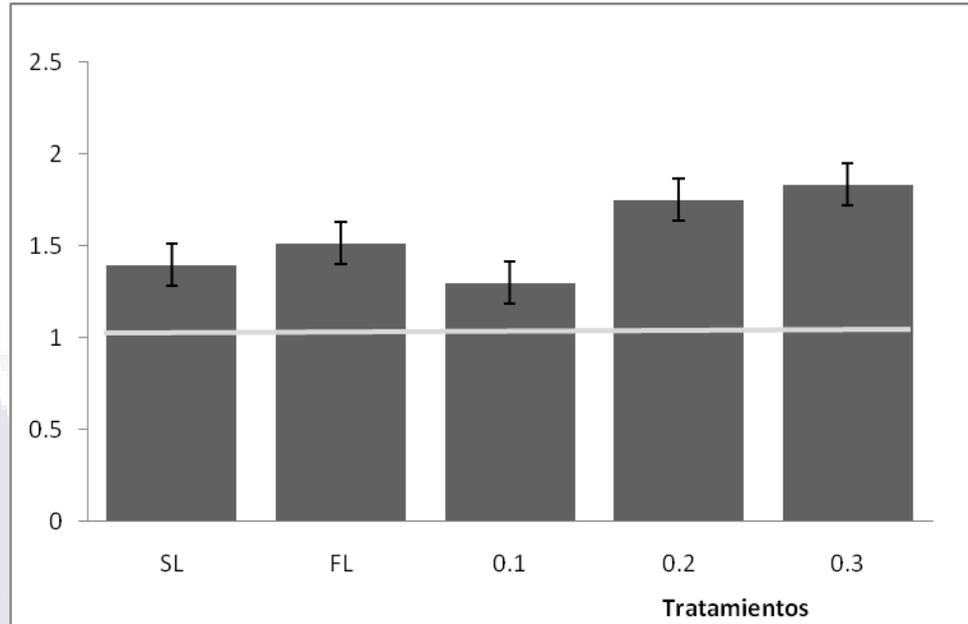


Figura 27. Coeficiente de Respiración de fresa a 20°C con distintos tratamientos (SL: fresa sin lavar, FL: fresa sanitizada y % de glicerol)

### 6.3.4.3. Índice de decaimiento

Se evaluó el índice de decaimiento (ID). En la figura 28, se expone la variación hallada en los ID de las fresas sin tratar y fresas recubiertas en función del tiempo de almacenamiento. Como puede verse, se evidenció daño en las fresas sin lavar y fresas sanitizadas a partir del día 6, alcanzando un daño moderado (ID=3.6 y 3 respectivamente) en el día 16, mientras que las fresas recubiertas con mucílago de linaza y 0.1, 0.2 y 0.3% de glicerol presentaron daño ligero para este mismo día (ID= 2.6, 2.6 y 2.3 respectivamente) manteniendo una mejor calidad organoléptica y comercial; para el día 20 todas las fresas presentaron daño severo (ID=5) perdiendo totalmente su calidad organoléptica y comercial (figura 29).

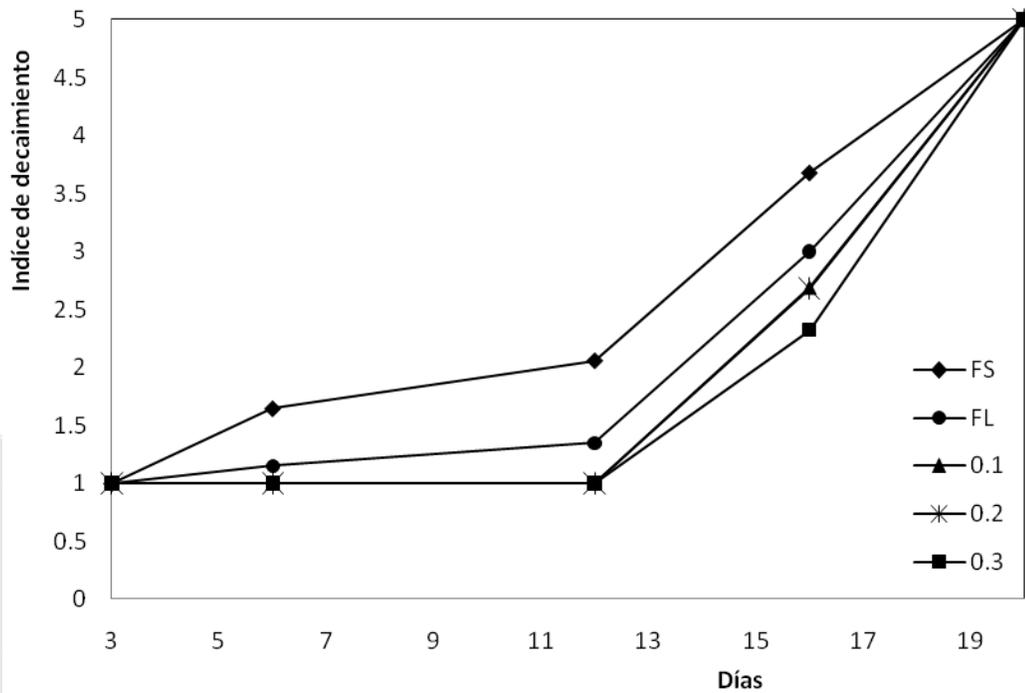


Figura 28. Índice de decaimiento de fresa con distintos tratamientos



Figura 29. Fresas con distintos tratamientos, almacenada a 5°C (SL: fresa sin lavar, FL: fresa sanitizada y % de glicerol)

### 6.3.4.4. Microscopia Electrónica de Barrido

Secciones de fresa se observaron para determinar la homogeneidad de la dispersión de mucílago, y la adherencia entre el mucílago y la fresa. El análisis realizado por SEM de las fresas con las tres concentraciones de glicerol (0.1%, 0.2% y 0.3%) en los recubrimientos comestibles reveló que hubo una estrecha relación entre la morfología de la superficie y las propiedades de barrera relacionadas como una reducción en la tasa de respiración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Las microfotografías figura 30 y 31 muestran las fresas que fueron recubiertas con diferentes concentraciones de glicerol. El espesor del los recubrimientos se midió en las microfotografías (figura 30) observándose que existe diferencia significativa en muestras con 0.1 y 0.3% de glicerol  $2.63 \pm 0.16$  y  $1.89 \pm 0.21 \mu\text{m}$ , respectivamente, lo que indica que el recubrimiento no se queda en la fresa con el mismo espesor. Los resultados muestran que la superficie de las fresas con recubrimiento comestible (0.1, 0.2 y 0.3%), presentaron microestructuras diferentes que fresas no fueron recubiertas (SR), esto es atribuido a que el recubrimiento se encuentra presente en la superficie.

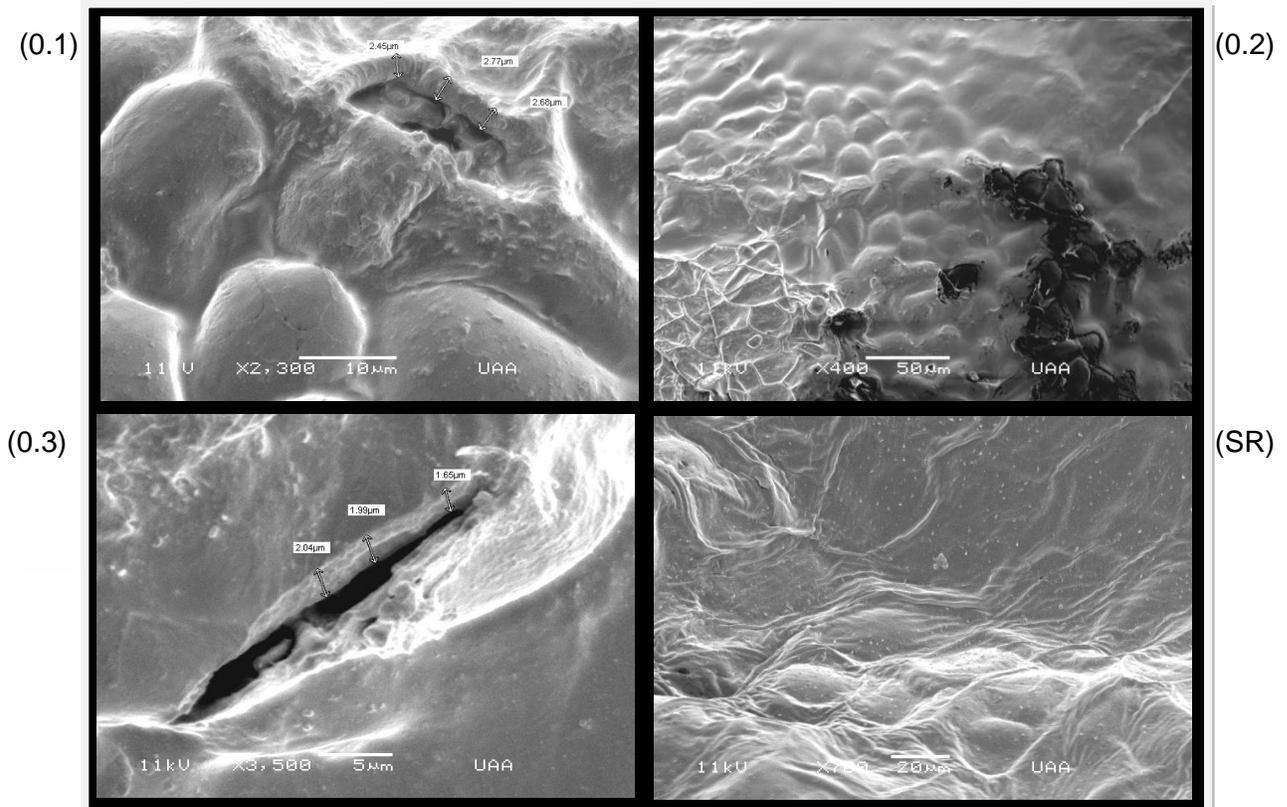


Figura 30. Microfotografías SEM de fresas secadas a temperatura ambiente: mucílago + 0.1%, 0.2% y 0.3% glicerol, (SR) fresa sin recubrir.

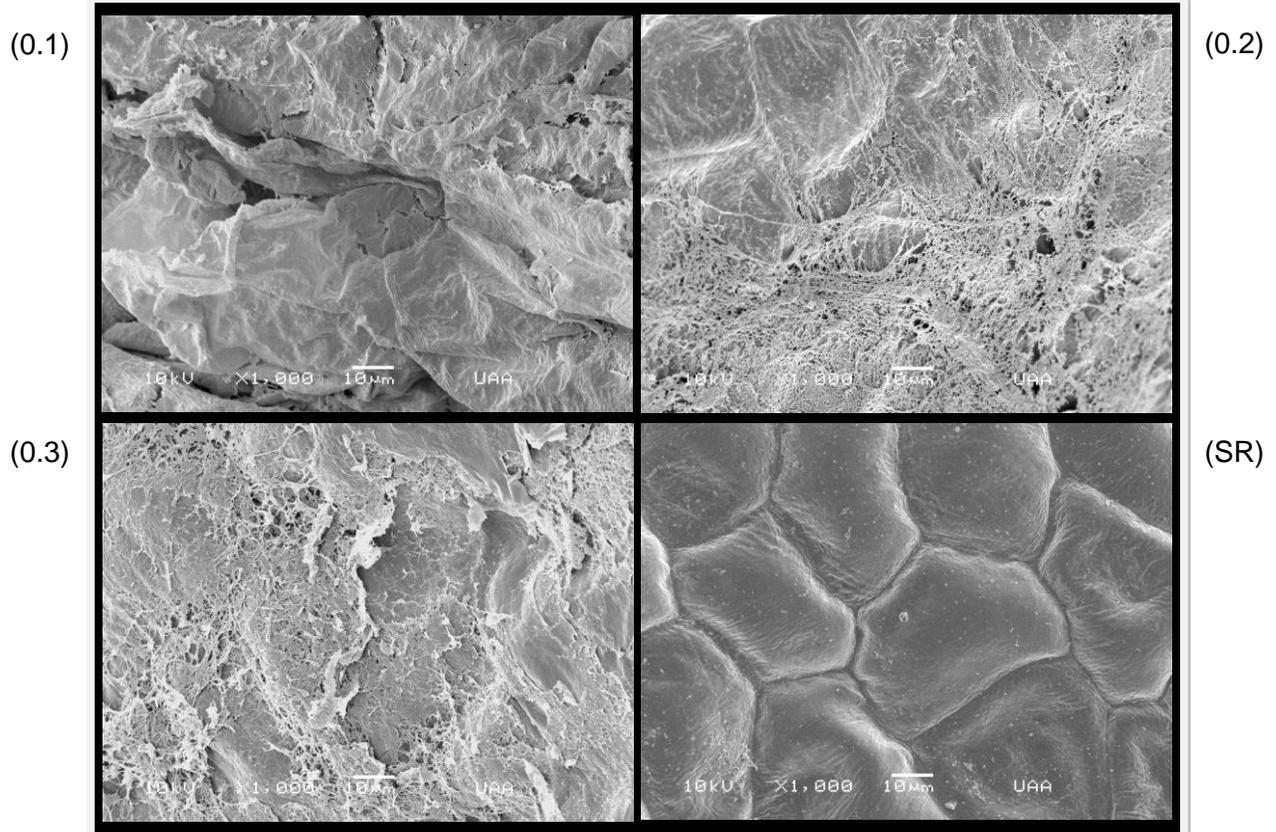


Figura 31. Microfotografías SEM de fresas secadas mediante punto crítico: mucílago + 0.1%, 0.2% y 0.3% glicerol, (SR) fresa sin recubrir.

### 6.3.5. Formulación y aplicación del recubrimiento comestible con un antimicrobiano

Se formularon dos recubrimientos: mucílago + glicerol (0.5 mL)+ ascorbato de sodio (2g) (MGA) y mucílago + glicerol (0.5 mL)+ ascorbato de sodio (2g) + benzoato de sodio (0.1g) (MGAS). Los recubrimientos comestibles MGA y MGAS fueron aplicados a las fresas mediante inmersión.

#### 6.3.5.1 Calidad microbiológica

La actividad microbiana es la principal causa de deterioro de muchos alimentos y en la mayoría de los casos es la responsable de la pérdida de la calidad y seguridad, y que ocurre en la fresa. Generalmente a medida que los frutos maduran, se incrementa la

contaminación, siendo la mayoría hongos, levaduras y bacterias ácido lácticas (Fleet, 1999)

Para el estudio comparativo de recuentos con métodos tradicionales en placa y el uso de Simplate® los resultados indicaron que los recuentos de bacterias coliformes totales fueron semejantes con ambas técnicas mostrando una alta correlación ( $r=0.993$ ), así mismo el uso de técnicas basadas en sistemas de cuantificación microbiológica como Simplate® reduce significativamente el tiempo de respuesta ( $\leq 24$  h) para coliformes totales.

La vida de anaquel de frutas y hortalizas mínimamente procesadas en base al crecimiento microbiano lo define la Regulación Francesa como un máximo de 7.6 log UFC/g de cuenta total de microorganismos, en el caso de fresas con recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza donde el pH del fruto es inferior a 3.5 con lo cual aumenta la estabilidad del producto al daño microbiológico, sin embargo el alto contenido de humedad, la alta  $a_w$ , aunado a un contenido de azúcares ocasiona una baja estabilidad microbiológica.

Bajo las condiciones de este estudio, la actividad antimicrobiana de benzoato de sodio resultó tener una influencia significativa para fresa con recubrimiento (MGAS), ya que se muestra un menor crecimiento significativo de los microorganismos determinados a lo largo del almacenamiento como se puede observar en las figuras 32, 33 y 34.

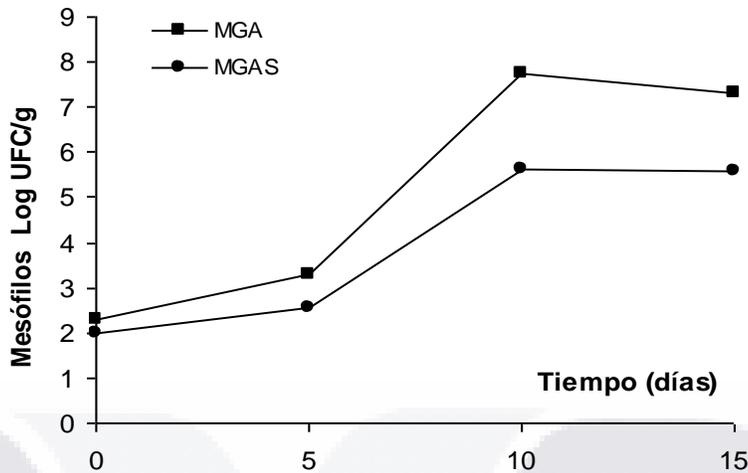


Figura 32. Recuento de microorganismos mesófilos, a lo largo del almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

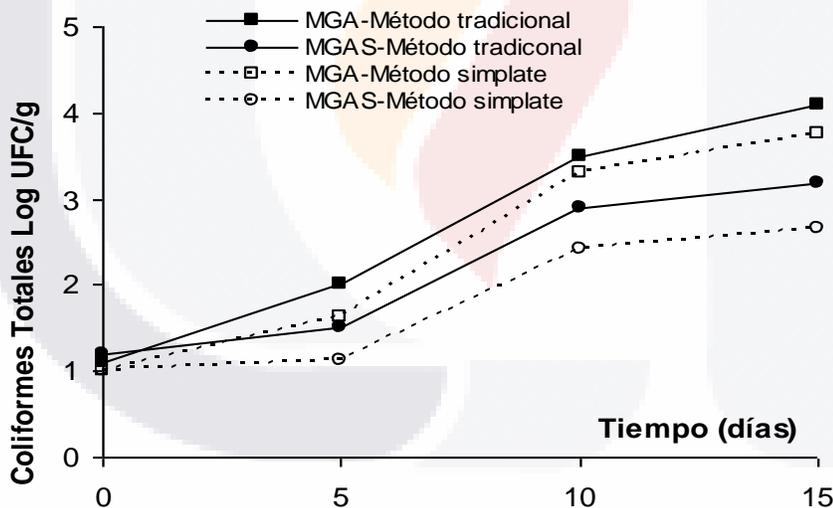


Figura 33. Recuento de coliformes fecales a lo largo del almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

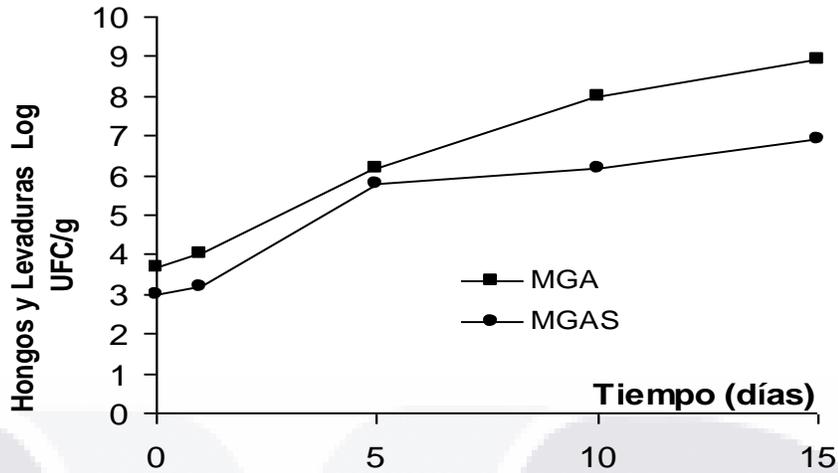


Figura 34. Recuento de hongos y levaduras a lo largo del almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

En la Figura 35 y en la Tabla 10 se muestra el ajuste de los datos de crecimiento de coliformes fecales totales, mesófilos y hongos y levaduras sobre fresas mínimamente procesadas a la ecuación modificada de Gompertz. Puede observarse que, en todos los casos se obtuvo un buen ajuste entre los datos experimentales y los valores predichos por el modelo. El coeficiente de determinación  $R^2$  para el modelo es superior al 99% lo que demuestra que los recuentos microbianos explican un alto porcentaje de la variación de los datos.

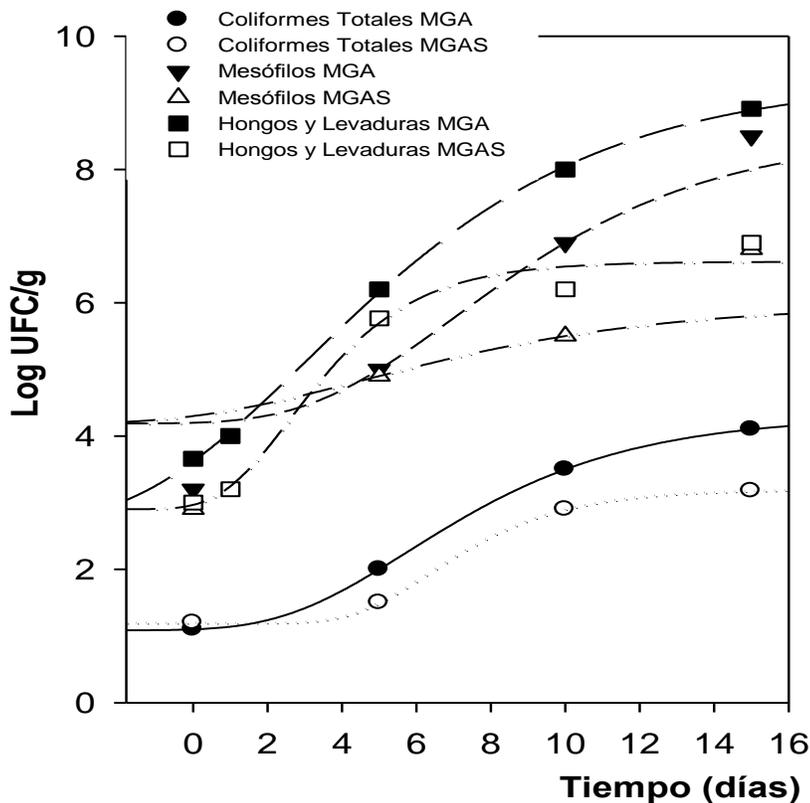


Figura 35. Evolución del crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y hongos y levaduras durante el almacenamiento a 5° C. Los puntos son los datos experimentales ( $n=2$ ) y la línea es el ajuste al modelo modificado de Gompertz. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

Los resultados de este estudio proporcionan información válida sobre el crecimiento cinético de microflora, colonizadora de fresas mínimamente procesadas con recubrimiento a base de mucílago de linaza. Bajo las condiciones de este estudio, la actividad antimicrobiana de benzoato de sodio resultó tener una influencia significativa para fresa con recubrimiento (MGAS), ya que se muestra un significativo ( $p<0.05$ ) menor crecimiento de los microorganismos determinados a lo largo del almacenamiento con lo cual incrementa la vida útil de fresa mínimamente procesada en un 40% (Fig. 35). Así mismo la utilización de bolsas con alta permeabilidad no disminuye el crecimiento de hongos y levaduras con lo cual se acorta su vida útil a 15 días para fresas con recubrimiento con o sin la presencia de benzoato de sodio.

En la Tabla 10 se muestran los parámetros del modelo, varios estudios han demostrado el alto potencial del benzoato de sodio como conservador, el parámetro A muestra una alta inhibición de todos los grupos de microorganismos analizados y tasa de crecimiento máxima ( $\mu_{max}$ ) presenta valores significativamente menores para las fresas con recubrimiento con benzoato de sodio (MGAS) para los grupos de microorganismos mesófilos y hongos y levaduras.

Tabla 10. Parámetros del modelo modificado de Gompertz

Muestra	Microorganismo	Parámetros			
		A	$\mu_{max}$	$\lambda$	R <sup>2</sup>
MGA	Coliformes	3.21±0.20	5.78±0.15	0.38±0.10	0.998
MGAS	Totales	2.00±0.13	6.31±0.19	0.20±0.05	0.998
MGA	Mesófilos	4.35±0.46	7.05±0.36	0.39±0.20	0.998
MGAS		1.79±0.28	4.59±0.75	0.46±0.32	0.997
MGA	Hongos y Levaduras	6.69±0.14	3.05±0.41	0.45±0.54	0.995
MGAS		3.71±0.52	2.63±0.32	0.18±0.39	0.983

MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

### 6.3.5.2. Propiedades mecánicas de fresas recubiertas

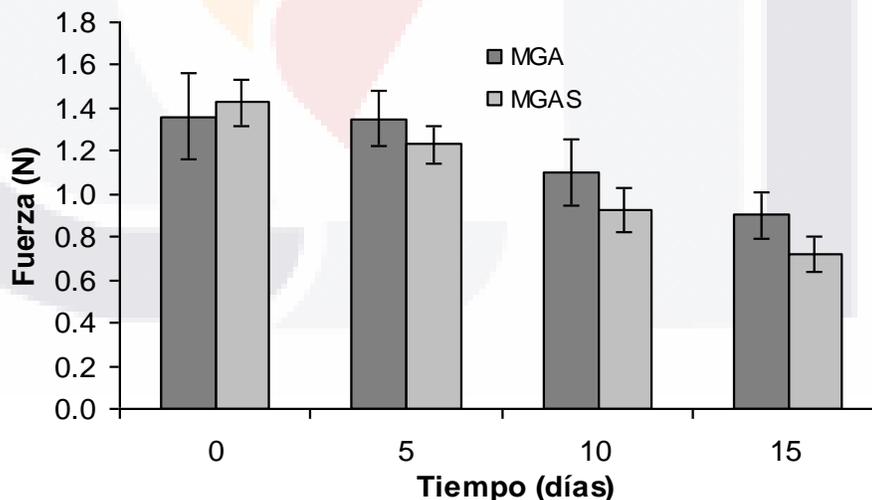


Figura 36. Fuerza (N) de fresas con recubrimiento comestible durante el almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

En la figura 36 se observa que las muestras MGA y MGAS registraron un descenso significativo en el parámetro fuerza (menor resistencia a la penetración) del inicio del almacenamiento para el día 15. La muestra MGA pudo haber tenido menor pérdida de agua durante el almacenamiento, al presentar cambios de resistencia de 1.3 a 1.0 así como una diferencia no significativa para el día 10, mientras que la muestra MGAS tuvo diferencia desde el día 5; dichos cambios en la fuerza son indicativo de un ablandamiento del tejido (pérdida de firmeza).

#### **6.3.5.3. Propiedades de color de fresas recubiertas**

Al las fresas recubiertas con las formulaciones MGA y MGAS se les determinó los cambios en el color, evaluando la luminosidad ( $L^*$ ) coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  (rojo-verde y amarillo-azul respectivamente), en general las fresas no modifican su color a lo largo del almacenamiento en refrigeración con respecto a día cero, lo cual indica de que el recubrimiento comestible no afecta esta característica tan apreciada por el consumidor (Figura 37). Para ambas muestras (MGA y MGAS) se observa una tendencia a la pérdida de la intensidad del color rojo (coordenada  $a^*$ ) al final del almacenamiento (15 días) resultados similares fueron observados por Holcroft y Kader (1999a); por otro lado la muestra MGA presenta una variación hacia tonalidades amarillas el día 15 sin embargo, esta no es significativa.

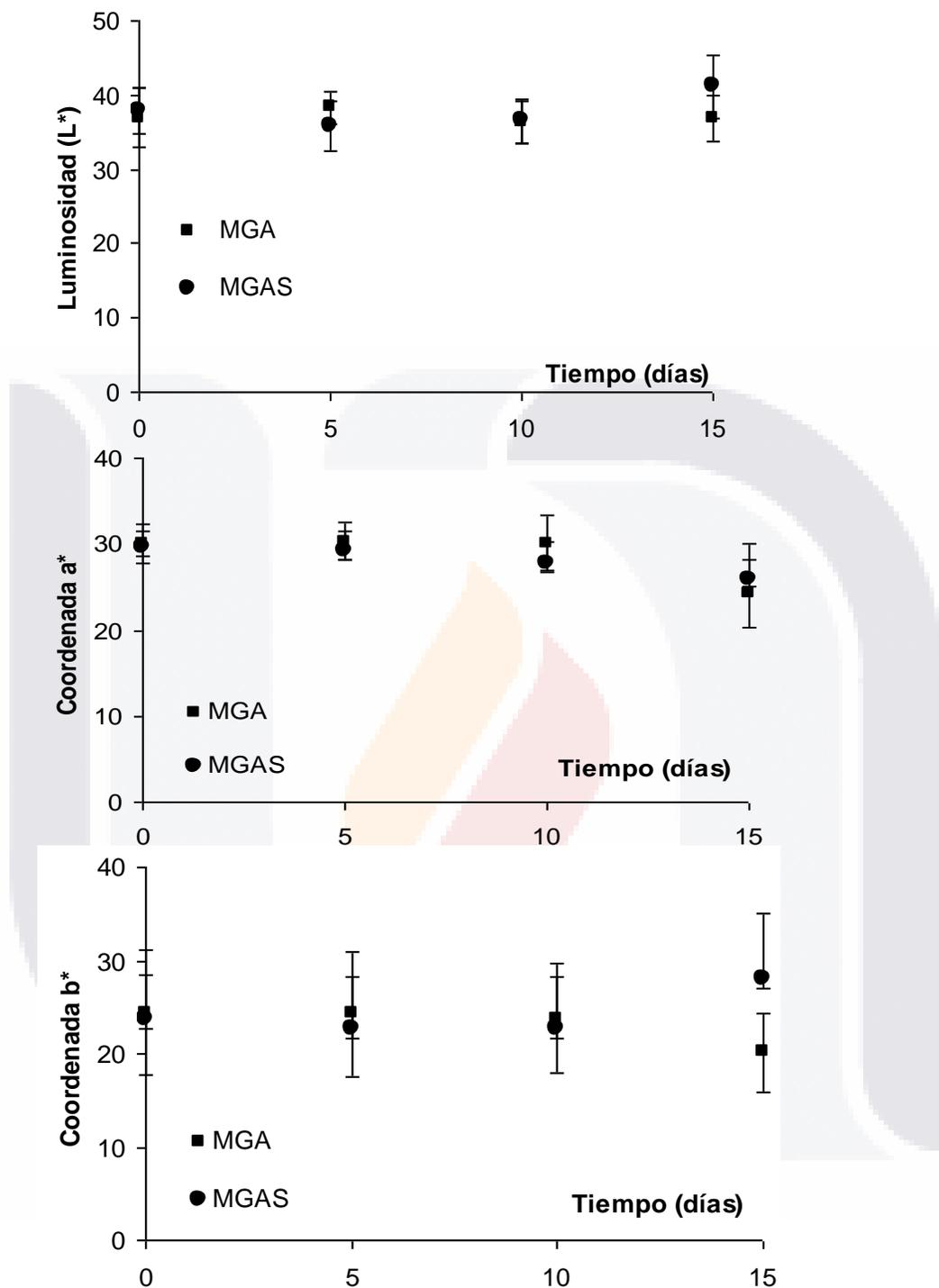


Figura 37. Color expresado por coordenadas CIE-L\*a\*b\* de fresas con recubrimiento comestible durante el almacenamiento en refrigeración. MGA (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio), MGAS (mucílago+glicerol+ascorbato de sodio+benzoato de sodio)

## 7. CONCLUSIONES

Se logró adecuar un método para extraer mucílago de linaza a 40 °C con una relación de 2:10 semilla-agua, la extracción en húmedo es >35% con características sensoriales de color, valores de acidez, pH, aw y humedad factibles para su aplicación como recubrimiento comestible en frutos cortados.

El mucílago de linaza tiene buenas propiedades formadoras de recubrimiento comestible, presentó alta estabilidad, la incorporación de glicerol mejoro las propiedades mecánicas, estas son afectadas por el contenido de plastificante (glicerol) ya que modifican los parámetros de esfuerzo de rompimiento y modulo de elasticidad.

El recubrimiento comestible formado a partir de mucílago de linaza y glicerol presentó carácter elástico mayormente y actúa como un gel débil; la isoterma de sorción muestra que la adición de glicerol al mucílago de linaza modifica las interacciones agua-sustrato facilitando la difusión de las moléculas de agua. Microscópicamente los recubrimientos tienen una estructura heterogénea y caracterizada por la presencia de numerosos poros, por la adición del glicerol.

Las fresas recubiertas con mucílago de linaza no presentaron diferencias significativas en cuanto al tiempo de inmersión en %O<sub>2</sub> y %CO<sub>2</sub>, pérdida de peso y firmeza, organolépticamente la fresa inmersa 5 minutos fue la más aceptada por el consumidor.

La respiración un proceso metabólico de degradación de productos presentes en la fresa como azúcares y ácidos orgánicos en CO<sub>2</sub> y agua y su velocidad es una guía de su vida de anaquel comercial; aplicar el recubrimiento comestible de mucílago de linaza y glicerol modificó positivamente la tasa de respiración de las fresas mínimamente procesadas, disminuyéndola más con concentraciones de 0.2 y 0.3% de glicerol; así mismo las fresas presentaron un índice de decaimiento de daño ligero y por tanto se alarga su vida útil.

El color de las muestras estudiadas MGA (mucílago de linaza + glicerol + ascorbato) y MGAS (mucílago de linaza + glicerol + ascorbato + benzoato de sodio) no se vio afectado por los recubrimientos a través del tiempo de almacenamiento (0 a 15 días). Sin embargo ambas muestras MGA y MGAS registraron un ablandamiento del tejido a lo largo del almacenamiento. Bajo las condiciones de este estudio, la actividad antimicrobiana de benzoato de sodio resulto tener una influencia significativa para fresa con recubrimiento ya que se muestra un significativo menor crecimiento de los microorganismos determinados a lo largo del almacenamiento, indicativo que el recubrimiento a base de mucílago de linaza aumenta la vida útil de fresa.

Es recomendable la aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza+glicerol+ascorbato ya que presenta ser una opción factible al resultar ser un vehículo adecuado para la incorporación de aditivos aunado a métodos de conservación en refrigeración y un adecuado sistema de envasado.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alleoni, A. C. C., Jacomino, A. P. & Rosa, A. S. (2006). 'Pera' orange coating with whey protein concentrate film associated to plasticizers. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41, 1221-1226.

Alix, S., Marais, S. Morvan, C. Lebrun, L. (2008). Biocomposite materials from flax plants: Preparation and properties. *Composites: Part A* :39, 1793–1801

Alzamora S.M., T. M. S. L.-M. A. (2000). *Minimal Processing of Fruit and Vegetables. Fundamental Aspects and Applications*. Aspen Publishers.

Appendini, P. & Hotchkiss J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food science and emerging technologies*. 3, 113 – 126.

Ashley, R.J. 1985. Permeability and plastic packaging. En *Polymer permeability*. Ed. J. Comyn, Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A., pp. 269-307.

AOAC (1995). *Official Methods of Analysis 17th Edition*. Washington, D.C... Association of Analytical Chemists International.

Baldwin, E.A. 1994. Edible coatings for fresh fruits and vegetables: past, present and future. Eds. J.M. Krochta; E.A. Baldwin; M.O. Nisperos-Carriedo, Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, U.S.A., pp. 24-64.

Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O. & Baker, R. A. (1995). Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. *Hortscience*, 30, 35-38.

Banker, G.S. 1966. Film coating theory and practice. *J. Pharm. Sci.*, 55(1): 81-89.

BeMiller, J. N. (1993). Quince seed, psyllium seed, flaxseed and okra gums. In *Industrial Gums*, 3rd edn, eds R. L. Whistler & J. N. BeMiller. Academic Press, New York, pp. 232-235.

Ben-Yehoshua, S. (1969). Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 94, 524 – 528.

Brecht, J. K. (1995) Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30(1): 18-22.

Bosquez M. E.(2004). Desarrollo de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para la conservación de frutas.

Bosquez M.E., Veron C.E.J., (2005). Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4 (002): 157-162.

Carbonell X. (1995). *La alimentación del Próximo Siglo. Fronteras de la Ciencia y la Tecnología*. Madrid, España.

Carrasco, E. U., Tudesca, M. V. & Cisneros-Zevallos, L. (2002). Edible coating effects on the sensory quality of green bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) during storage. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52, 84-90.

Casariego, A., Souza, B. W. S., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Cruz, L. & Díaz, R. (2008). Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot. *Food Hydrocolloids*, 22, 1452-1459.

Cha DS, Choi JH, Chinnan MS, Park HJ.(2002). Antimicrobial films based on Na-alginate and k-carrageenan. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol* 35:715-719.

Cha DS, Chinnan MS. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A Review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 44:223-237.

Chao, R. R. & Rizvi, S. S. H. (1988). Oxygen and water vapor transport through polymeric film. A review of modeling approaches. *Antecedentes. Food and Packaging Interactions*, DC, 217-242.

Chunran Han, Cindy Lederer, Mina McDaniel & Yanyun Zhao (2005). Sensory Evaluation of Fresh Strawberries (*Fragaria ananassa*) Coated with Chitosan-based Edible Coatings. *Journal of Food Science*, 70, 172-178.

Colla, E., Sobral, P. J. A. & Menegalli, F. C. (2006). Effect of composite edible coating from *Amaranthus cruentus* flour and stearic acid on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Latin American Applied Research*, 36, 249-254.

Daun, J. K.; Barthet, V. J., Chornick, T. L., Duguid, S. (2003). Structure, composition, and variety development of flaxseed. In: Thompson, L.U.; Cunanne, S.C.(eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd ed. Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 1-40.

Day, B. 1993. Fruit and vegetables. En *Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods*. Ed. R. Parry, Blackie Academic & Professional, London, UK, pp. 115-133.

Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A. & Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Crit Rev.Food Sci.Nutr.*, 38, 299-313.

Del-Valle, V., Hernandez-Munoz, P., Guarda, A. & Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91, 751-756.

Devlieghere, F., Vermeulen, A. & , D. J. (2004). Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21, 703-714.

Diab, T., Biliaderis, C. G., Gerasopoulos, D., & Stakiotakis, E. (2001). Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 988-1000.

Dominguez-Lopez, A. (1995). Review: use of the fruit and stems of the prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) into human food. *Food Science and Technology International*, 1, 65-74.

Donhowe, G. F. O. (1993). The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17, 247-257.

Durango, A. M., Soares, N. F. F., Andrade, N. J. (2005). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*. En prensa.

Dybing, C. D. & Lay, C. (1981). Flax. In *Handbook of Biosolur Resources*, Vol. II, Ed. O. R. Zoborsky. CRC Press, BocaRaton, pp. 71-85.

Erskine, A. J. & Jones, J. K. N. (1957). The structure of linseed mucilage. Part I. *Can. J. Chem.*, 35, I 174-I 182.

Fedeniuk, R. W. & Biliaderis, C. G. (1994). Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum ussitatissimum* L.) mucilage. *J. Agric. Food Chem.*, 42, 240-247.

Fennema O. R. (1993). *Química de los alimentos*. 2a edición. Editorial Acribia,

Fennema O., D. I. G. K. J. J. (1994). Lipid type and location of the relative humidity gradient influence on the barrier properties of lipids to water vapor. *Journal of Food Engineering*, 22, 225-239.

Fleet, G. (1999). Microorganisms in food ecosystems. *International Journal of Food Microbiology* 50:101-117.

Gennadios, A. W. C. L. G. C. H. (1994). Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *J. Food Eng.*, 21, 395-409.

Gennadios A, Hanna MA, y Kurth LB. (1997). Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *Lebensm.-Wiss. u.- Technol* 30:337-350.

Giménez, B., Gómez-Estaca, J., Alemán, A., Gómez-Guillen, M. C. & Montero, M. P. (2009). Physico-chemical and film forming properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) gelatin. *Food Hydrocolloids*, 23, 585-592.

Glenn, G. M., Reddy, A. S. N. & Poovaiah, B. W. (1988). Effect of calcium on cell wall structure, protein phosphorylation and protein profile in senescing apples. *Plant and Cell Physiology*, 29, 565-572.

Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective film. In: matathoulthi, M. *Food Packaging and Preservation*, 371-394.

Guilbert, S. a. G. N. (1995). In Foods and Packaging Materials. *The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK*, 159.

Guilbert S, Gontard N, Gorris LGM. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensm.-Wiss. u.- Technol.*, 29:10.17.

Hardenburg, R.E. 1967. Wax and related coatings for horticultural products. Ed. U.S.D.A., Agric. Res. Serv. Publ., AR, 51-15.

Hagenmaier, R.D.; Baker, R.A. 1993. Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. *J. Agr. Food Chem.*, 41:283-287.

Hagenmaier, R. D.; Shaw, P.E. 1992. Gas permeability of fruit coating waxes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 117(1): 105-109.

Han, C., Lederer, C., McDaniel, M., Zhao, Y. (2005). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings, *Journal of Foods Science* 70:5172-5178.

Hershko, V.; Nussinovitch, A. 1998. Relationship between hydrocolloid coating and mushroom structure. *J. Agr. Food Chem.*, 46(8):2988-2997.

Holcroft, D.M., Kader, A.A., 1999a. Carbon dioxide-induced changes in color and anthocyanins synthesis of stored strawberry fruit. *HortScience* 34, 1244–1248.

Hunt, K. & Jones, J. K. N. (1962). The structure of linseed mucilage. Part II. *Can. J. Chem.*, 40, 126&1279.

Kaplan, H. J. (1986). Washing, waxing, and color-adding. *Fresh Citrus Fruits*, 379-395.

Kays, S. J. (1991). Metabolic considerations in harvested products. In Postharvest physiology of perishable plant products. *Van Nostrand Reinhold* (pp. 75-142).

Kester, J. J. and Fennema O. R. (1986). Edible films and coatings. *Food Technology*, 40(12), 47-49.

King Jr., A. D. & Bolin, H. R. (1989). Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 43, 132-139.

Krochta, J. M. B. E. A. a. N.-C. M. (1994). Edible Films and Coatings to Improve Food Quality, . *Technomic Publishing, Lancaster, UK*.

Krochta JM. (2002). Proteins as Raw materials for films and coatings: definitions, current atatus and opportunities. En Protein-based films and coatings. Editor Gennadios A. Boca Raton, Florida, E.U., CRC Press, pp: 1-41.

Labuza, T., A.Kaanane & J.Y.Chen (1985). Effect of temperature on the moLabuza,T.,A.Kaana; y,, J.Y.C; nisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated food. *Journal Food Science*, 50, 392-396.

Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y. & Choi, W. Y. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologies-Food Science and Technology*, 36, 323-329.

Lin, D. and Zhao, Y. Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6, 60-75.

Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S., (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coatings. *Lebesimttel Wissenschaft und Technology* 38:628-624.

Mali, S.,Grossmann, M. V. E. (2003). Effects of yam starch on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 21:7005-7011.

Manning, K. (1993). Soft Fruit. In: Seymour, G. B., Taylor, J. E., Tucker, G. A. (Eds.) . *Biochemistry of Fruit Ripening.Chapman and Hall, London*, 347-377.

Martin-Polo, M., Mauguin, C., & Voilley, A. (1992). Hydrophobic if lms and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 407 – 412.

Martínez-Romero D., Alburquerque N., Valverde J.M., Guillén F., Castillo S., Valero D. & Serrano M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: A new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 93-100.

Mazza, G. & Biliaderis, C. G. (1989). Functional properties of flax mucilage. *J. Food Sci.*, 54, 1302-1305.

McHugh, T.H; Krochta, J.M. 1994a. Permeability properties of edible films. En *Edible Coatings and films to improve Food Quality*. Eds. J.M. Krochta; E.A. Baldwin; M.O. Nisperos-Carriedo, Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, U.S.A., pp. 139-187.

McKevith, B. (2005). Nutritional aspects of oilseeds. *Nutrition Bulletin*, 30, 26.  
Mitchell, F.G., E. Mitcham, J.E. Thompson, and N. Welch. (1996). Handling strawberries for fresh market. Oakland, CA: Univ. Calif. Agr. Nat. Resources, Special Publ. 2442, 14 pp.

Meheriuk, M y O.L.Lau. (1988). Effect of Two Polymeric Coatings on Fruit Quality of "Bartlett" and "D'Anjou" pears. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 113(2):222-226.

Miller, K.S.; Krochta, J.M. 1997. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends Food Science Technology*, 8:228-237.

Mitchell, F.G., E. Mitcham, J.E. Thompson, and N. Welch. 1996. Handling strawberries for fresh market. Oakland, CA: Univ. Calif. Agr. Nat. Resources, Special Publ. 2442, 14 pp

Ni, Y., Turner, D., Yates, K. M., Tizard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of Aloe vera L. leaf pulp. *International Immunopharmacology* 4:1745-1755.

Nisperos-Carriedo MO, B. E. S. P. (1992). Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. Proceeding at the annual meeting of Florida *State Horticultural Society*., 104, 122-125.

Nussinovitch, A. H. V. & R. H. D. (1994). Protective Coatings for Food and Agricultural Products. *Israel Patent Application*, No. 111,495 PCT/US95/14252.

O'Mullane John Edward & Hayter Ian Peter. Linseed mucilage. PCT/GB1993/000343[WO/1993/016707]. (1992). European Patent Office.

Olivas, G. I. & Barbosa-Canovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Crit Rev.Food Sci.Nutr.*, 45, 657-670.

Oomah, B. D., Kenaschuk, E. O., Cui, W. & Mazza, G.(1995). Variation in the composition of water-soluble polysaccharides in flaxseed. *J. Agric. Food Chem.*, 43, 1484-1488.

Oomah, B. D. 2003 Processing of flaxseed fiber, oil, protein, and lignan. In: Thompson, L.U.; Cunnane, S.C.(eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 363-386.

Park, H.; Chinnan, M.; Shewfelt, R. 1994. Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *J. Food Sci.*, 59:568-570.

Park, H. J. (1999). Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 254-260.

Peleg, M. (1979). Characterization of the Stress Relaxation Curves of Solid Foods. *J. Food Sci.*, 44, 277.

Ricky W. F. and Costas G. B. (1994). Composition and Physicochemical Properties of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Mucilage. *J. Agric. Food Chem*, 42, 240-247.

Romero F., R. F. P. T. M. G. S. M. M. C. L. P. S. P. L. P. (1996). *Atmósferas Modificadas*. In Editorial Mundi Prensa (Ed) *Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas* Madrid, España.

SAGARPA . Crece 400 por ciento la producción de fresa en México. 015/15. 2006.

Salgado-Cruz M.P., C. L. D. y. B. O. M. C. (2005). Estudio de las Propiedades Funcionales de la Semilla de Chía (*Salvia hispánica*) y de la Fibra Dietaria Obtenida de la Misma. *Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y Tercer Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 358-366.

Schlimme D.V. Marketing lightly processed fruits and vegetables. *Hortscience* 30, 15-17. 1995.

Shi R, Liu Q, Ding T, Han Y, Zhang L, Chen D, et al. Ageing of soft thermoplastic starch with high glycerol content. *J Appl Polym Sci* 2006;1:574–86.

Shon, J. & Haque, Z. U. (2007). Efficacy of Sour whey as a Shelf-Life Enhancer: Use in Antioxidative Edible Coatings of Cut Vegetables and Fruit. *J. Food Quality*. *J. Food Quality*, 30, 581-583.

Sistrunk, W. A. & Morris, J. R. (1985). Strawberry quality: influence of cultural and environmental factors. In: H. E. Patlee (Ed.). *Evaluation of Quality of Fruit and Vegetables*. AVI, Westport, Conn., 217-256.

Serrano, M., Valverde, J.M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D. (2006). Use of aloe vera gel coating preserves the functional properties of table grapes. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.54, pp.3882-3886.

Sothornvit, R., Olsen, C. W., Mchugh, T. H. & Krochta, J. M. (2007). Tensile properties of compression-molded whey protein sheets: Determination of molding condition and glycerol-content effects and comparison with solution-cast films. *Journal of Food Engineering*, 78, 855-860.

Tapia, M.S., Rojas-Graü, M.A., Rodríguez, F.J., Ramírez, J. Carmona ,A. & Martin-Belloso, O. (2007). Alginate- and Gellan-Based Edible Films for Probiotic Coatings on Fresh-Cut Fruits. *Journal of Food Science*, 72, 190-196.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Carmona, A., Rodriguez, F. J., Soliva-Fortuny, R. & Martin-Belloso, O. (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22, 1493-1503.

Trachtenberg S. and Mayer A.M. (1981). Composition and Properties of *Opuntia Ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 20, 2665-2668.

Trachtenberg, S. a. M. A. M. (1982). Biophysical properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 21, 2835-2843.

Vasconcellos, J. A. (2000). Regulatory and safety aspects of refrigerated minimally processed fruits and vegetables: a review. In: Alzamora, S.M., Tapia, M.S., Lopez-Malo, A. (Eds.), *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Aspen Publishers, Gaithersburg, MD, 319-343.

Wanasundara P. K. J. P. D. and Shahidi F. (1997). Removal of flaxseed mucilage by chemical and enzymatic treatments. *Food Chemistry*, Vol. 59, No. 1, pp. 47-55.

Watada, A. E., Ko, N. P. & Minott, D. A. (1996). Factors Affecting Quality of Fresh-Cut Horticultural Products. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 115-125.

Wiesenborn, D. P.; Tostenson, K.; Kangas, N. (2003). Continuous abrasive method for mechanically fractionating flaxseed. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80: 295-300.

Wiley, R. C. *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Chapman & Hall. 1994.

Wills, R. B. H. (1998). *An Introduction To The Physiology & Handling Of Fruit, Vegetables & Ornamentals*. Sydney, Australia.

Wong DWS, Camirand WM & Pavlath AE. (1994). Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. In: Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos-Carriedo MO, editors. *Edible coatings and films to improve food quality*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Co., Inc., 65-88.

Zhong, Q. P. & Xia, W. S. (2008). Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol. *Food Technology and Biotechnology*, 46, 262-269.

[www.fao.org/ag/AGN/pfl\\_report\\_en/annexes/.../Mexico/Importance.xls](http://www.fao.org/ag/AGN/pfl_report_en/annexes/.../Mexico/Importance.xls)  
[http://conafresa.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=16&Itemid=32](http://conafresa.com/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=32)  
<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Fresa.shtml>

**9. ANEXOS**

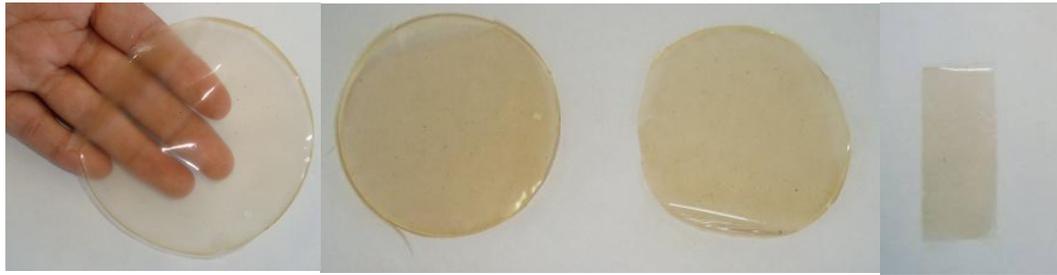


Figura A1. Películas de mucílago de linaza



Figura A2. Procesamiento mínimo de fresa y aplicación de recubrimiento comestible

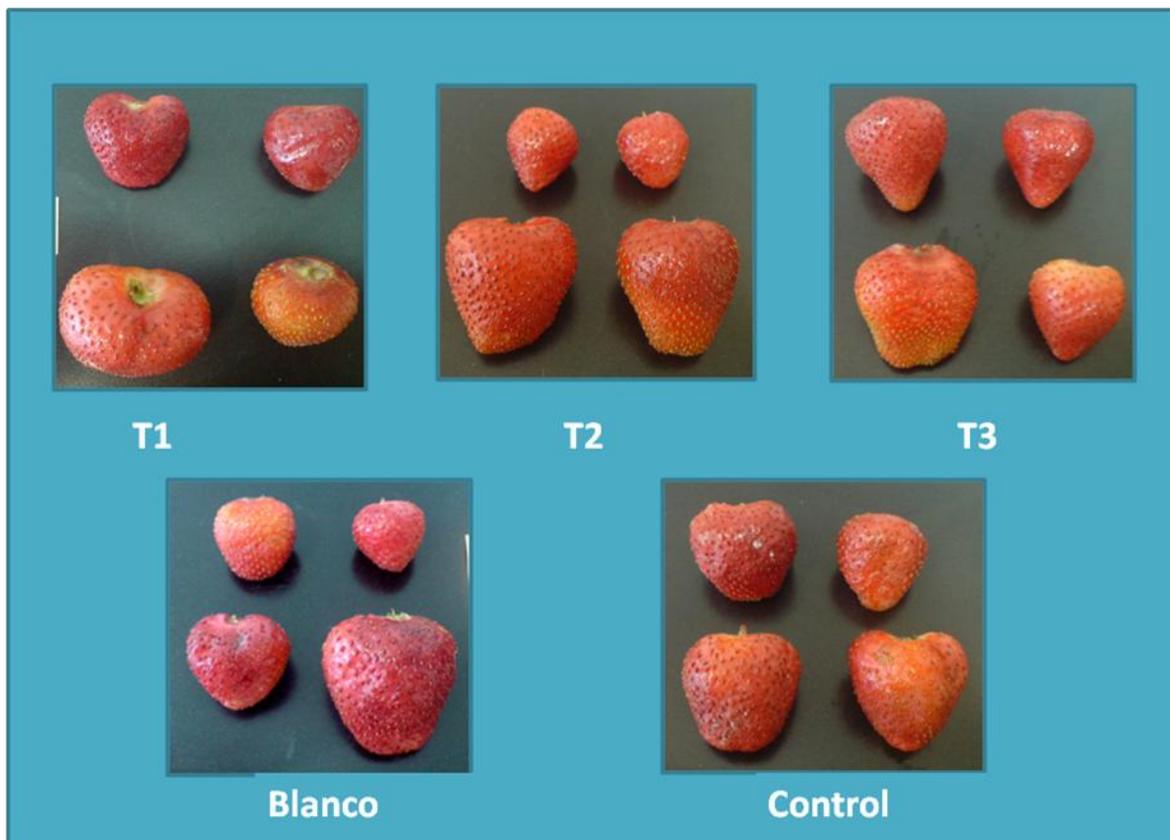


Figura A3. Fresas con diferentes tratamientos almacenada por 12 días a 5°C. T1: 3 minutos, T2:5 minutos, T3:10 minutos, blanco: sin tratamiento y control: sanitizada



Figura A4. Muestras de evaluación sensorial



Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### Instrucciones

Ante usted hay cinco muestras. Obsérvelas de izquierda a derecha e indique cuál es la muestra prefiere en cuanto a: apariencia, brillo, color y preferencia de compra.

**MARQUE LA CLAVE DE LA MUESTRA QUE PREFIERE**

Apariencia \_\_\_\_\_

Brillo \_\_\_\_\_

Color \_\_\_\_\_

Preferencia de compra \_\_\_\_\_

GRACIAS

Figura A5. Cuestionario prueba de preferencia