

**Efecto de dos temperaturas y tres
combinaciones de plastificante en las
propiedades físicas de una película comestible
a base de proteína de suero ácido**

Departamento Agroindustria Alimentaria

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Efecto de dos temperaturas y tres
combinaciones de plastificante en las
propiedades físicas de una película comestible
a base de proteína de suero ácido**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

**José Luis Brandao Delgado
Ángel Gabriel Peña Turcios**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2012

Efecto de dos temperaturas y tres combinaciones de plastificante en las propiedades físicas de una película comestible a base de proteína de suero ácido

Presentado por:

José Luis Brandao Delgado
Ángel Gabriel Peña Turcios

Aprobado:

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Asesor principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Departamento de Agroindustria Alimentaria

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Brandao Delgado, J.L. y Peña Turcios, A.G. 2012. Efecto de dos temperaturas y tres combinaciones de plastificante en las propiedades físicas de una película comestible a base de proteína de suero ácido. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 23 p.

En los últimos años el suero lácteo ha pasado de ser un problema a una alternativa. Un ejemplo claro son las películas comestibles, las cuales contribuyen doblemente con el ambiente, porque además de estar hechas a base de un sub-producto de la industria quesera también ayudan a disminuir el uso excesivo de plásticos. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de dos temperaturas (90 y 95°C) y tres plastificantes (100% sorbitol, 100% glicerol y 50/50% sorbitol y glicerol) sobre las propiedades físicas de una película elaborada a base de proteína de suero ácido. Se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial tres por dos y medidas repetidas en el tiempo a los días uno, 15 y 30. La elongación fue estadísticamente mayor en películas conteniendo 100% glicerol, mientras que la tensión, compresión y punción presentaron valores estadísticamente mayores para 100% sorbitol ($P < 0.05$). No hubo un efecto significativo del tiempo ni de la temperatura para la compresión y la punción ($P > 0.05$). El índice de blancura fue inferior en 100% sorbitol que también fue el plastificante que tuvo el mayor efecto del tiempo ($P < 0.05$). Todos los factores influyeron estadísticamente sobre el grosor ($P < 0.05$). El mejor tratamiento fue a 95°C de temperatura con 100% sorbitol y mediante una aplicación de campo se demostró que este era preferido del control cuando se le añadió a la matriz del alimento utilizado como vehículo ($P < 0.05$). Se recomienda evaluar un mayor periodo de tiempo, para evaluar más el efecto del factor.

Palabras clave: Empaque biodegradable, filme comestible, glicerol, recubrimiento, sorbitol, textura.

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| Portadilla..... | i |
| Página de firmas..... | ii |
| Resumen..... | iii |
| Contenido..... | iv |
| Índice de cuadros, figuras y anexos..... | v |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2 MATERIALES Y MÉTODOS..... | 3 |
| 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 8 |
| 4 CONCLUSIONES..... | 17 |
| 5 RECOMENDACIONES..... | 18 |
| 6 LITERATURA CITADA..... | 19 |
| 7 ANEXOS..... | 22 |

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

| Cuadros | Página |
|--|--------|
| 1. Diseño Experimental | 7 |
| 2. Resumen de la significancia estadística para las variables y sus interacciones.... | 9 |
| 3. Efecto del plastificante y la temperatura en la resistencia a la tensión (MPa) | 10 |
| 4. Efecto del plastificante y la temperatura en el porcentaje de elongación (%)..... | 11 |
| 5. Efecto del plastificante y la temperatura en la resistencia a la compresión (MPa)..... | 12 |
| 6. Efecto del plastificante y la temperatura en la resistencia a la punción (MPa) | 13 |
| 7. Efecto del plastificante y la temperatura en el grosor (mm)..... | 13 |
| 8. Efecto del plastificante y la temperatura en el índice de blancura (WI) | 14 |
| 9. Análisis de preferencia pareada de enchiladas | 15 |
| 10. Costos variables para la elaboración de la película comestible | 16 |
| | |
| Figura | Página |
| 1. Flujo de procesos utilizado para la elaboración de la película comestible..... | 4 |
| | |
| Anexos | Página |
| 1. Proyecciones para el mercado del queso hasta el año 2014 en los EE. UU | 22 |
| 2. Proyecciones para el mercado de la proteína del suero en polvo hasta el año 2014 en los EE. UU..... | 22 |
| 3. Boletas de evaluación sensorial utilizadas en la prueba de preferencia pareada .. | 23 |

1. INTRODUCCIÓN

El suero lácteo es el sub-producto generado a partir de la coagulación de la caseína para la manufactura de queso. Según su pH este suero puede ser dulce o ácido. Por años ha sido desechado al ambiente pasando por alto su gran contenido proteico (Garibay 2004) y la contaminación que este ocasiona a las fuentes de agua de los ecosistemas. De acuerdo a estadísticas de la FAO y la OCDE la producción de queso incrementará solamente en un 2.77% para el año 2014 respecto al año 2012. Por otro lado, para este mismo período, se espera que el procesamiento del suero lácteo en polvo incremente en un 6.64% en los Estados Unidos de América (mayor productor de este insumo a nivel mundial) lo que viene a reafirmar que el procesamiento del suero lácteo es una tecnología emergente con un futuro prometedor.

Desde luego esto llama la atención de la industria y por consecuencia de la ciencia en la búsqueda de nuevas formas de aprovechamiento para este recurso. Como resultado hoy en día se elaboran diversos tipos de productos a partir de concentrados o aislados de proteína de suero en polvo, tales como: bebidas, suplementos proteicos y películas comestibles. La aplicación que se evaluó en este estudio fue en películas comestibles a base de proteína de suero ácido. Porque a pesar de que hay varios estudios que describen las propiedades físicas de películas a base de proteína de suero (Banerje y Chen 1995, Chae y Heo 1997, Ozdemir y Floros 2007, Pintado *et al.* 2009, Sothornvit *et al.* 2003), la gran mayoría de ellos han sido realizados usando como matriz la forma dulce de éste.

Una película comestible es una delgada capa que puede ser consumida por humanos ya sea en forma de recubrimiento o añadida a la matriz del alimento para evitar migración de compuestos en productos heterogéneos (Skurtys *et al.* 2011). Algunas de las funciones que puede cumplir una película comestible según Kester & Fennema (1986) son:

- Reducir la pérdida de humedad
- Reducir el transporte de gases (CO₂ y O₂)
- Reducir la migración de aceites y grasas
- Reducir el transporte de solutos
- Mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos
- Proveer integridad estructural a los alimentos
- Retener componentes volátiles
- Contener aditivos

Nada de esto fuera posible sin un adecuado control de dos factores fundamentales en la elaboración de una película comestible: temperatura y agente plastificante.

Las temperaturas de desnaturalización de β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina, principales proteínas presentes en el suero, son 78 y 62°C respectivamente (Pérez Gago y Krochta 2002). Sin embargo varios investigadores han determinado que para poder exponer todos los grupos sulfhidrilos y grupos hidro-fóbicos internos de la matriz es necesario calentar la solución arriba de 90°C por 30 minutos (Pintado *et al.*, 2009; Shon y Chin 2008; Cagri *et al.* 2001; Pérez-Gago y Krochta 1999).

En cuanto a los plastificantes; glicerol y sorbitol son los más ampliamente estudiados. Según Ozdemir y Floros (2007), la adición de sorbitol a una película comestible aumenta su porcentaje de elongación. Así mismo Galiotta *et al.* (1998), reportaron que el aumento en la concentración de glicerol es directamente proporcional a su capacidad de extensión. Ambos también reportaron que el aumento de cualquiera de estos compuestos afecta negativamente las demás características mecánicas de la película. Esto quiere decir que es necesario uniformizar la cantidad de plastificante a utilizar para poder hacer comparaciones y determinar cuantitativamente cual de los dos es mejor.

Por lo anteriormente expuesto es que surge la iniciativa de llevar a cabo el presente estudio, complementando la necesidad de determinar si es justificable o no aumentar de 90 a 95°C la temperatura de desnaturalización de la solución madre de las películas.

Objetivos.

- Desarrollar un método para la elaboración de una película comestible a base de proteína de suero ácido en polvo a escala de laboratorio.
- Determinar el efecto de dos temperaturas y tres plastificantes en el color, grosor, resistencia a la tensión, porcentaje de elongación, resistencia a la compresión y resistencia a la punción de una película comestible a base de proteína de suero ácido.
- Demostrar la funcionalidad de la película utilizándola como barrera al agua en un alimento heterogéneo de alta humedad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue llevado a cabo en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos Zamorano (LAMZ), donde se elaboraron las películas para posteriormente hacer los análisis físicos en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ). Las muestras para la prueba de preferencia se elaboraron en la Planta de Lácteos Zamorano. Todos los sitios descritos están localizados en el campus de la Escuela Agrícola Panamericana, departamento de Francisco Morazán, 32 km al este de Tegucigalpa, Honduras.

Materiales y equipo. Las películas fueron elaboradas a partir de un concentrado de proteína de suero (WPC, por sus siglas en inglés) ácido en polvo, procedente de MY PROTEIN[®]. El grado de pureza de este material es de $\geq 80\%$ de proteína con un pH máximo de 5.1 en solución al 10%. Los plastificantes utilizados fueron D-sorbitol $\geq 98\%$ y Glicerol $>99\%$, ambos grado alimenticio, provenientes de la empresa SIGMA-ALDRICH[®]. Las películas se vertieron en moldes circulares de poli-estireno de 80 mm de diámetro y 6 de alto. Para su almacenamiento se utilizaron bolsas de poli-etileno marca Ziploc[®]. El equipo utilizado fue:

- Agitador magnético IKA[®] C-MAG HS10
- Balanza FISHER SCIENTIFIC[®] SLF152-US
- Incubadora Precision Scientific Thelco modelo 4
- Refrigerador ATLAS[®] AC35**IAT*
- Oyster[™] Temperature/pH/mV meter 341350A-P
- Pie de rey GENERAL[®] modelo No. 147
- Medidor de textura Brookfield CT3 (celda de carga de 4500 grs.)
- Colorímetro Hunter L*a*b*

Métodos. La Figura 1 muestra el flujo de procesos que se utilizó para la elaboración de todos los tratamientos de este estudio.

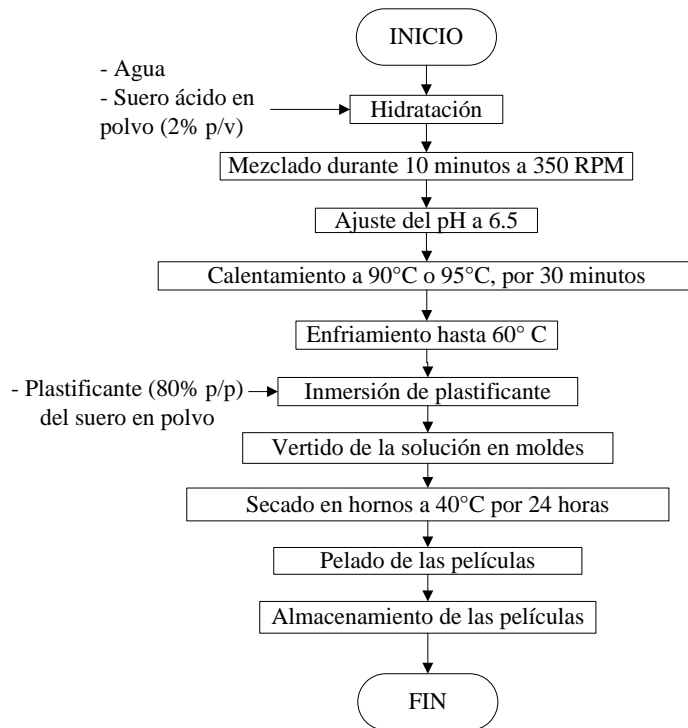


Figura 1. Flujo de procesos utilizado para la elaboración de la película comestible. Adaptado de: Javanmard (2008); Murdinah *et al.* (2009); Ozdemir y Floros (1999).

El primer paso para la realización de las películas fue rehidratar el suero en polvo en agua a una proporción de 2% (p/v) con agitación magnética durante diez minutos a 350 RPM. Luego se procedió a ajustar el pH a 6.5, de ser necesario. Seguidamente se inició el calentamiento de la mezcla a 90 o 95°C dependiendo del tratamiento y se mantuvo a esa misma temperatura durante 30 minutos.

Transcurrido este tiempo se discontinuó la transferencia de calor de modo que la solución bajará hasta una temperatura de 60°C y a continuación se procedió a agregar el plastificante en una proporción de 80% (p/p) respecto a la cantidad proteínica de suero en polvo utilizada. Se continuó agitando durante 5 minutos más y después se vertió 20 ml de solución en cada molde, los cuales fueron puestos a secar en hornos a 40°C durante 24 horas.

Posteriormente las películas fueron despegadas y almacenadas a 4°C separando una con otra por medio de los moldes de poli-estireno en que fueron hechas inicialmente y dentro de bolsas de poli-etileno marca Ziploc®.

Análisis Físicos. Todos los análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ) a los días uno, 15 y 30 de almacenaje (4°C) de las películas a una temperatura de $21.24 \pm 1.9^\circ\text{C}$ y un porcentaje de humedad relativa de $42.96 \pm 6.9\%$. Las variables evaluadas fueron: resistencia a la tensión, porcentaje de elongación, resistencia a la compresión, resistencia a la punción, color y grosor.

La resistencia a la tensión se define como la máxima cantidad de fuerza aplicada a una película por unidad de área de sección transversal original de la película y el porcentaje de elongación, es la distancia máxima a la que una película se estira antes de romperse dividido por la longitud original de la película (Pérez-Gago y Krochta 1999). Se hizo una medición conjunta de ambos utilizando el texturómetro Brookfield CT3, con sonda de extensión DGA (Dual Grip Assembly). Las muestras para esta prueba fueron cortadas en rectángulos de 80 × 25 mm. Los resultados fueron reportados en unidades de esfuerzo (MPa) para el parámetro resistencia a la tensión y en porcentaje para la elongación.

Para la evaluación de la variable resistencia a la compresión se utilizó también el equipo Brookfield CT3 con el acople TA 10 (cilindro de 12.7 mm de diámetro, longitud de 35 mm, de extremo plano y de material acrílico). Las dimensiones de la muestra fueron de 40 × 40 mm con un grosor estimado, para todas las muestras, de 0.10 mm. Los resultados fueron reportados en unidades de esfuerzo (MPa).

La resistencia a la punción fue evaluada también en el Brookfield CT3 con el acople TA 39 (varilla de 2 mm de diámetro, 20 cm de largo, de extremo plano y acero inoxidable). Las dimensiones de la muestra fueron de 40 × 40 mm con un grosor estimado, para todas las muestras, de 0.10 mm. Los resultados fueron reportados en unidades de esfuerzo (MPa).

Para la medición del color se hizo uso del colorímetro Hunter L a b. Se tomó una muestra de cinco películas por repetición. El colorímetro hace uso de una escala conocida como L a b. Donde L (Luminosidad) en cero equivale a negro y en 100 a blanco, el valor a en el que sus valores positivos equivalen a rojo y los negativos a verdes y el valor b donde los valores positivos equivalen al color azul y los negativos al color amarillo. Cada muestra fue analizada con el estándar del color blanco (L=92.95 a=-1.24 b=1). Los valores L a b se utilizaron para calcular el índice de blancura (WI, por sus siglas en inglés), usando la Ecuación 1. Según Puebla (2003), la blancura debe ser entendida como un índice del color blanco en el cual la falta de croma es regulada por su contraposición de amarillo-azul limitantes. A menor índice de blancura, más amarillento será el color.

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 - b^2]^{0.5} \quad [1]$$

Para la medición del grosor se hicieron 3 mediciones por película por repetición, para un total de 15 mediciones por repetición. Tales mediciones se hicieron en forma escalonada (ambos extremos y el centro) puesto que según describe la literatura uno de los más grandes problemas al momento de la elaboración de una película comestible es tratar de estandarizar su grosor. Para la medición de esta variable se utilizó un pie de rey marca GENERAL modelo no. 147 con una precisión de ± 0.01 mm.

Aplicación de campo. El producto seleccionado para ser utilizado como vehículo del mejor tratamiento fue la enchilada estilo hondureño ya que se identificó que dicho producto suele tener problemas de ruptura al momento de ser consumido. Las enchiladas son un platillo autóctono de Honduras y que se puede clasificar en dos parte según el estado de sus componentes: una parte seca (tortilla frita) y una parte húmeda, que en este

caso contuvo carne molida, ensalada de repollo, queso y salsa de tomate. Los insumos para su elaboración se adquirieron de la Cafetería Zamorano.

Lo que se pretendió lograr con esta prueba de campo fue demostrar que la película podía servir como un mecanismo barrera que evitaría la migración del agua contenida en la parte húmeda hacia la parte seca. Como consecuencia mantendría una buena textura, crocancia y apreciación general por más tiempo que una enchilada normal. Para comprobar esta teoría se decidió realizar una evaluación sensorial de ubicación central con 70 panelistas en el Puesto de Ventas Zamorano.

Se utilizó una prueba de preferencia pareada. Las enchiladas con su número de identificación se presentaron a los panelistas, como sigue a continuación:

- Enchilada con película comestible (081)
- Enchilada sin película comestible (208)

La boleta utilizada para la realización de esta prueba contenía tres interrogantes las cuales perseguían un solo objetivo: identificar cual enchilada le gustaba más a los visitantes del sitio mencionado. La presentación de las muestras tanto en la boleta como en el plato fue completamente al azar.

Con el fin de obtener respuestas más reales se prepararon las enchiladas y se esperó al menos cinco minutos para ser entregadas a los panelistas. Mediante la ayuda de la Cafetería Zamorano y pruebas preliminares hechas por parte de los autores se determinó que este era el tiempo mínimo que una enchilada estaba en espera antes de consumirse, lo cual también era un tiempo óptimo para que hubiera una prudente migración de humedad hacia la tortilla y así poder encontrar diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ambas muestras.

Análisis estadístico. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3×2 (Cuadro 1) y tres medidas repetidas en tiempo. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento, lo que representó un total de 54 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 5 muestras. Todos los datos fueron analizados mediante el programa estadístico SAS® versión 9.3 ($P < 0.05$). Las medias se calcularon por el método de Cuadrados Mínimos ($P < 0.05$) y los datos de la aplicación de campo fueron analizados mediante el método de Chi Cuadrado ($P < 0.05$).

Cuadro 1. Diseño Experimental.

| Tratamiento | Plastificante(s) | Proporción (%) | Temperatura (°C) |
|-------------|-------------------|----------------|------------------|
| GLY90 | GLY ¹ | 100 | 90 |
| GLY95 | GLY | 100 | 95 |
| SORB90 | SORB ² | 100 | 90 |
| SORB95 | SORB | 100 | 95 |
| SORBGLY90 | SORB/GLY | 50/50 | 90 |
| SORBGLY95 | SORB/GLY | 50/50 | 95 |

¹ GLY= glicerol.

² SORB= sorbitol.

Análisis económico. Se realizó un análisis de los costos variables en los que se incurrió para la elaboración de cada tratamiento a una escala de laboratorio.

Para una mejor comprensión de este análisis es necesario recalcar que todos los insumos utilizados en este estudio se compraron de un proveedor externo. El concentrado de proteína de suero que se utilizó no es proveniente del suero líquido producido en la Planta de Lácteos Zamorano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas Preliminares. Inicialmente se pretendía evaluar el efecto de tres diferentes temperatura (90, 95 y 100°C) en las propiedades físicas de la película. Pero durante la experimentación previa que se hizo se encontró que debido a la latitud del lugar de localización del estudio, no era posible calentar la solución a más de 98°C sin que el agua que contenía comenzara a hervir. Por lo tanto se decidió que solamente se evaluaría el efecto de la temperatura a 90 y 95°C.

Se realizaron pruebas con dos concentraciones de proteína 1 y 2% p/v. En tales pruebas se observó que al usar 1% de proteína no se lograba desarrollar películas uniformes y estas eran muy quebradizas; debido a que no había suficiente cantidad de proteína en la matriz que expusiera sus cargas para obtener películas más uniformes y maleables. Con 2% se obtuvo una película menos quebradiza pero que igualmente no despegaba bien de los moldes. Dadas las circunstancias se optó por mantener dicho nivel de proteína y el resto de pruebas se enfocaron en buscar la manera de hacer que las películas despegarán de los moldes de vidrio.

Para definir la proporción de plastificante se realizaron pruebas con concentraciones de 50% p/p, 80% p/p y 100% p/p de proteína pero se encontró que en la máxima concentración, la película que se obtenía era muy quebradiza e imposible de despegar. Se observo que bajando la concentración hasta 50% se continuaba obteniendo resultados similares. Hasta que se encontró que el problema no era efecto del plastificante *per se* sino del molde utilizado para verter. En primera instancia estas fueron vertidas en moldes de vidrio los cuales no permitían una deshidratación adecuada de la película, debido a la impermeabilidad que posee este material. Al comenzar a utilizar los moldes de poliestireno si se logró mantener la integridad de la película después de despegada del molde.

Con este cambio que se hizo en el material del molde de vertido fue necesario repetir las pruebas para determinar la concentración adecuada de plastificante, debido a que todas las pruebas anteriores se habían hecho en los moldes de vidrio. Para esto se trabajó en un rango de 50 a 100% nuevamente. Determinando finalmente que la concentración óptima era de 80%.

Se evaluaron dos tiempos de mezclado antes del calentamiento; 10 y 15 minutos. No se pudo identificar diferencias visibles entre las películas desarrolladas durante un tiempo y otro ya que al momento del calentamiento la solución seguiría agitándose por 30 minutos más. Por lo tanto se decidió dejar el tiempo de mezclado en 10 minutos. Este tiempo era suficiente para asegurar que la proteína se hidratara totalmente evitando la presencia de grumos en la mezcla al momento del calentamiento.

Interacciones. Las probabilidades para cada variable y su interacción con los tratamientos, factores evaluados, tiempos y la combinación de estos se detallan en el Cuadro 2.

El plastificante tuvo una interacción estadísticamente significativa ($P < 0.05$) con todas las variables analizadas. Para la temperatura se puede observar que la diferencia no fue significativa ($P < 0.05$) para ninguna variable exceptuando el color (WI) y la resistencia a la tensión, efecto que se dio a causa de las películas de SORB. El tiempo también fue un factor determinante para todas las variables exceptuando compresión y punción ($P < 0.05$) donde GLY y SORBGLY fueron iguales en tiempo y entre tratamientos.

La interacción del plastificante con la temperatura solamente fue estadísticamente significativa para la variable tensión y color ($P < 0.05$). Una vez más este fenómeno se debió a causa de los valores de las películas que contenían SORB como plastificante.

La interacción de la temperatura con el tiempo también fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) para las variables tensión, color y en este caso también para grosor. No fue así para el resto de variables donde no se mostró dependencia de estos dos factores en conjunto.

La adición del plastificante no fue capaz de lograr que el tiempo tuviera una interacción estadísticamente significativa ($P < 0.05$) con las variables compresión y punción.

La interacción triple del plastificante con la temperatura y el tiempo solamente fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) para la tensión, el color y el grosor de las películas.

Cuadro 2. Resumen de la significancia estadística para las variables y sus interacciones.

| | Tensión | Elongación | Compresión | Punción | WI | Grosor |
|--------------------|---------------------|------------|------------|---------|--------|--------|
| Plast ¹ | <.0001 ² | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| Temp ³ | 0.0443 | 0.4086 | 0.4610 | 0.1809 | 0.0163 | 0.9936 |
| Tiempo | <.0001 | 0.0389 | 0.1478 | 0.1510 | <.0001 | <.0001 |
| Plast*Temp | 0.0005 | 0.1863 | 0.4677 | 0.0656 | <.0001 | 0.5351 |
| Temp*Tiempo | <.0001 | 0.8377 | 0.5261 | 0.9444 | <.0001 | <.0001 |
| Plast*Tiempo | <.0001 | 0.0003 | 0.1192 | 0.7460 | <.0001 | <.0001 |
| Plast*Temp*Tiempo | 0.0025 | 0.2637 | 0.5116 | 0.5453 | 0.0372 | 0.0001 |

¹ Plast= Plastificante.

² Pr < |t|= Valores menores de 0.05 indican que sí hubo interacción del factor(es) con la variable.

³ Temp= Temperatura.

Tensión. Hubo interacción estadísticamente significativa ($P < 0.05$) tanto de los factores evaluados, como del tiempo y del efecto combinado de los tres. Como se puede apreciar el Cuadro 3 solamente SORB95 alcanzó al día 30 una tensión arriba de los 4 MPa; límite

establecido por Ozdemir y Floros (2007), como la resistencia a la tensión mínima que debe tener una película a base de asilado de proteína de suero (WPI, por sus siglas en inglés). SORB95 fue también el tratamiento que reportó haber sido más afectado en el tiempo aumentando significativamente el esfuerzo necesario antes de romperse del día uno al día 15 y así mismo del día 15 al día 30.

GLY95 y SORBGLY95 no presentaron diferencia significativa entre el día uno y el 15 ni entre el 15 y 30 pero si entre el uno y el 30. SORB90 y SORBGLY90 mantuvieron el mismo comportamiento del día uno al día 15 y solamente fue estadísticamente diferente hasta el día 30. GLY90 no mostró diferencias estadísticamente significativas en el tiempo ($P < 0.05$).

Según Sothornvit *et al.* (2003), la cantidad de proteína soluble en una mezcla sube a medida que incrementa también el contenido de agua y/o de plastificante en ella. También argumenta que este proceso detiene la desnaturalización de las proteínas, el efecto de la temperatura es inverso. Por lo tanto, sabiendo que el peso molecular de GLY es menor que el de SORB, habría una mayor cantidad de moléculas de plastificante en las películas a base de GLY que de SORB. Por lo tanto el aumento en 5°C no fue suficiente para contrarrestar la cantidad de moléculas presentes de GLY en las mezclas que lo contenían.

Esto explica porque en la interacción del plastificante con la temperatura no se encontraron diferencias significativas para GLY ni SORBGLY más si fue así para SORB. Un estudio con rangos de temperatura más amplio es necesario para explicar más claramente lo anteriormente expuesto.

Cuadro 3. Efecto del plastificante y la temperatura en la resistencia a la tensión (MPa).

| Plastificante | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | Tiempo | | |
|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Día 1 | Día 15 | Día 30 |
| | | Media \pm EE ¹ | Media \pm EE | Media \pm EE |
| SORB | 90 | 2.73 \pm 0.2 ^{(y)a} | 2.45 \pm 0.2 ^{(y)b} | 3.63 \pm 0.2 ^{(x)b} |
| | 95 | 2.18 \pm 0.2 ^{(z)b} | 3.62 \pm 0.2 ^{(y)a} | 4.66 \pm 0.2 ^{(x)a} |
| GLY | 90 | 1.14 \pm 0.2 ^{(x)c} | 0.99 \pm 0.2 ^{(x)cd} | 0.96 \pm 0.2 ^{(x)d} |
| | 95 | 0.65 \pm 0.2 ^{(y)d} | 0.75 \pm 0.2 ^{(xy)d} | 1.16 \pm 0.2 ^{(x)cd} |
| SORBGLY | 90 | 1.00 \pm 0.2 ^{(y)c} | 0.99 \pm 0.2 ^{(y)cd} | 1.53 \pm 0.2 ^{(x)c} |
| | 95 | 0.92 \pm 0.2 ^{(y)c} | 1.27 \pm 0.2 ^{(xy)c} | 1.59 \pm 0.2 ^{(x)c} |
| Coeficiente de variación (%) | | 30.5 | 32.6 | 19.2 |

^{a-d} Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Medias con diferente letra en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

¹ EE= Error estándar.

Porcentaje de elongación. No se observó un efecto significativo de la temperatura entre tratamientos ($P < 0.05$). Sin embargo, si fue así para los factores: plastificante, tiempo y la combinación de ambos.

Los tratamientos que contenían GLY como plastificante fueron superiores estadísticamente al resto de tratamientos ($P<0.05$) seguidos de los tratamientos de SORBGLY y por último los de SORB con una pobre elongación debido a que estos se secaron más rápido que los otros tratamientos.

La interacción de plastificante con tiempo se aprecia claramente en el Cuadro 4. Donde el porcentaje de elongación de todas las películas que contenían en alguna proporción SORB fueron estadísticamente iguales para todas las mediciones en tiempo. Caso contrario sucedió en las películas de GLY donde sí se reportó una disminución estadísticamente significativa en el porcentaje de elongación del día uno al día 30 ($P<0.05$).

Cabe destacar que aunque las películas de GLY reportaron tener mayor efecto del tiempo también fueron las que al día uno mostraron el mayor porcentaje de elongación y aún con todo lo que disminuyeron mantuvieron esa superioridad con diferencia estadística ($P<0.05$) hasta el día 30 donde SORBGLY igualó su porcentaje de elongación.

Según la separación de medias, la disminución en la temperatura pareció haber favorecido a que las películas de GLY mantuvieron su integridad por más tiempo. Sin embargo no se encontró una interacción estadísticamente significativa ($P<0.05$) entre estos dos factores que lo comprobaba.

Los valores de extensibilidad para GLY al día uno fueron iguales a los reportados por Banerje y Chen (1995). Así mismo se encontraron resultados similares en otros estudios pero menores a consecuencia de que las temperaturas y tiempos de deshidratado fueron también menores para todos los demás casos revisados; haciendo la película más maleable y flexible pero comprometiendo su resistencia a la tensión, siendo estas inferiores a las obtenidas en este estudio. SORB fue el más afectado por este efecto del exceso del tiempo y la temperatura de deshidratación, puesto que toda la literatura revisada presentó valores superiores para este plastificante (Chae y Heo 1997; Ozdemir y Floros 2007).

Cuadro 4. Efecto del plastificante y la temperatura en el porcentaje de elongación (%).

| Plastificante | Temperatura (°C) (NS) ¹ | Tiempo | | |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Día 1 | Día 15 | Día 30 |
| | | Media ± EE ² | Media ± EE | Media ± EE |
| GLY | 90 | 18.97±1.3 ^{(x)a} | 17.39±1.3 ^{(x)a} | 11.12±1.3 ^{(y)b} |
| | 95 | 21.13±1.3 ^{(x)a} | 16.16±1.3 ^{(y)a} | 14.94±1.3 ^{(y)a} |
| SORBGLY | 90 | 10.58±1.3 ^{(x)b} | 9.44±1.3 ^{(x)b} | 10.51±1.3 ^{(x)b} |
| | 95 | 8.08±1.3 ^{(x)b} | 10.18±1.3 ^{(x)b} | 9.06±1.3 ^{(x)b} |
| SORB | 90 | 1.73±1.3 ^{(x)c} | 1.43±1.3 ^{(x)c} | 2.45±1.3 ^{(x)c} |
| | 95 | 2.39±1.3 ^{(x)c} | 3.22±1.3 ^{(x)c} | 3.08±1.3 ^{(x)c} |
| Coeficiente de variación (%) | | 30.5 | 32.6 | 33.9 |

^{a-c} Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

^{x-y} Medias con diferente letra en la misma fila son significativamente diferentes ($P<0.05$).

¹ (NS)= No significativo.

² EE= Error estándar.

Compresión. No se reportó efecto del tiempo ni de la temperatura ($P<0.05$) para la variable compresión (Cuadro 5). Ambos tratamientos conteniendo SORB fueron superiores significativamente ($P<0.05$).

Tampoco se encontró diferencia significativa entre los tratamientos de GLY y SORBGLY para las variables de compresión y punción ($P<0.05$). Pérez-Gago y Krochta (2002), adjudicaron este comportamiento al peso molecular de los plastificantes; a mayor peso molecular habrá menos moléculas por unidad de volumen. El sorbitol tiene un peso molecular de 182.17 g/mol mientras que el glicerol tiene 92.09.

Esto también explica porque en el resto de variables los valores de SORBGLY se inclinaron significativamente más hacia los valores de GLY y no de SORB ($P<0.05$).

Cuadro 5. Efecto del plastificante y la temperatura en la resistencia a la compresión (MPa).

| Plastificante | Temperatura (°C) (NS) | Tiempo (NS) ¹ | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | Día 1 | Día 15 | Día 30 |
| | | Media ± EE ² | Media ± EE | Media ± EE |
| SORB | 90 | 0.101±0.007 ^a | 0.096±0.007 ^a | 0.089±0.007 ^a |
| | 95 | 0.088±0.007 ^a | 0.091±0.007 ^a | 0.083±0.007 ^a |
| GLY | 90 | 0.031±0.007 ^b | 0.040±0.007 ^b | 0.040±0.007 ^b |
| | 95 | 0.031±0.007 ^b | 0.039±0.007 ^b | 0.045±0.007 ^b |
| SORBGLY | 90 | 0.030±0.007 ^b | 0.034±0.007 ^b | 0.052±0.007 ^b |
| | 95 | 0.028±0.007 ^b | 0.048±0.007 ^b | 0.039±0.007 ^b |
| Coeficiente de variación (%) | | 46.8 | 35.7 | 28.9 |

^{a,b} Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

¹ (NS)= No significativo.

² EE= Error estándar.

Punción. Tanto SORB90 como SORB95 fueron los tratamientos con mejor resistencia a la punción ya que no se reportó interacción de la temperatura para este parámetro, solamente para el plastificante ($P<0.05$). Tampoco el tiempo tuvo interacción alguna en el comportamiento de la variable punción ($P<0.05$).

Valores tan bajos para la resistencia a la punción (Cuadro 6) para películas a base de concentrado de proteína de sueros se dice que son normales. Banerje y Chen (1995), expusieron que es el resultado de la impureza y lubricación causada por el 6% de grasa residual que este contiene.

Por lo tanto es de suponer que la resistencia a la punción debería ser mayor en películas elaboradas a base de aislado de proteína de suero ($\geq 95\%$ de pureza). Pero se encontró que las medias de los valores de punción de este experimento eran iguales a las reportadas por Pintado *et al.* (2009), en películas comestibles a base de aislado de proteína de suero tanto para GLY como para SORB.

Cuadro 6. Efecto del plastificante y la temperatura en la resistencia a la punción (MPa).

| Plastificante | Temperatura (°C) (NS) | Tiempo (NS) ¹ | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Día 1 | Día 15 | Día 30 |
| | | Media ± EE ² | Media ± EE | Media ± EE |
| SORB | 90 | 1.54±0.1 ^a | 1.41±0.1 ^a | 1.90±0.1 ^a |
| | 95 | 1.34±0.1 ^b | 1.26±0.1 ^a | 1.40±0.1 ^b |
| GLY | 90 | 0.57±0.1 ^b | 0.41±0.1 ^b | 0.43±0.1 ^c |
| | 95 | 0.32±0.1 ^b | 0.34±0.1 ^b | 0.45±0.1 ^c |
| SORBGLY | 90 | 0.45±0.1 ^b | 0.50±0.1 ^b | 0.55±0.1 ^c |
| | 95 | 0.66±0.1 ^b | 0.50±0.1 ^b | 0.67±0.1 ^c |
| Coeficiente de variación (%) | | 46.3 | 28.9 | 65.6 |

^{a-c} Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

¹ (NS)= No significativo.

² EE= Error experimental.

Grosor. El único factor que no presentó tener interacción en el grosor fue la temperatura (P<0.05). Todos los demás factores si influyeron en la variabilidad del grosor pero sin ninguna tendencia definida como se muestra en el Cuadro 7. Sin embargo los resultados obtenidos son correspondientes con los reportados por Banerjee y Chen (1995), en GLY y por Chae y Heo (1997) y McHugg *et al.* (1994), para SORB y GLY, denotando que la desunifomización del grosor es un aspecto propio de las películas comestibles.

Según Skurtys *et al.* (2011) y Jooyandeh (2011), el espesor de una película no puede exceder los 10 mils (0.25 mm), sino sería llamada lámina. Se puede decir que todos los tratamientos cumplieron con este límite. También mencionan, que no debería ser menor a 0.10 mm porque entonces sería una película muy débil con propiedades físicas pobres. Por lo tanto solamente SORB cumplió estadísticamente (P<0.05) con ambos parámetros.

Cuadro 7. Efecto del plastificante y la temperatura en el grosor (mm).

| Plastificante | Temperatura (°C) (NS) ¹ | Tiempo | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | Día 1 | Día 15 | Día 30 |
| | | Media ± EE ² | Media ± EE | Media ± EE |
| SORB | 90 | 0.16±0.01 ^{(x)a} | 0.10±0.01 ^{(z)ab} | 0.12±0.01 ^{(y)ab} |
| | 95 | 0.16±0.01 ^{(x)a} | 0.10±0.01 ^{(z)ab} | 0.14±0.01 ^{(y)a} |
| GLY | 90 | 0.12±0.01 ^{(x)b} | 0.10±0.01 ^{(xy)b} | 0.11±0.01 ^{(x)b} |
| | 95 | 0.09±0.01 ^{(z)c} | 0.10±0.01 ^{(yz)bc} | 0.13±0.01 ^{(x)a} |
| SORBGLY | 90 | 0.11±0.01 ^{(x)b} | 0.12±0.01 ^{(x)a} | 0.09±0.01 ^{(y)c} |
| | 95 | 0.11±0.01 ^{(x)b} | 0.08±0.01 ^{(y)c} | 0.13±0.01 ^{(x)a} |
| Coeficiente de variación (%) | | 29.4 | 34.4 | 33.7 |

^{a-c} Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

^{x-z} Medias con diferente letra en la misma fila son significativamente diferentes (P<0.05).

¹ (NS)= No significativo.

² EE= Error estándar.

Color. En el Cuadro 8 se puede observar que los tratamientos de GLY y SORBGLY tuvieron los mayores niveles de blancura ($P < 0.05$). La disminución de la blancura es un indicador de la reducción de transparencia, efecto que ocurrió principalmente en SORB ($P < 0.05$). Los demás tratamientos solamente cambiaron su color hasta el día 15. Luego se mantuvieron estables entre el día 15 y 30.

Todos los factores y sus respectivas combinaciones evaluados fueron estadísticamente significativos para el color ($P < 0.05$). En el caso de la temperatura solamente fueron diferentes estadísticamente los tratamientos que contenían un solo plastificante, ya sea SORB o GLY. Los valores reportados concuerdan con los publicados por Rhim *et al.* (1999), en películas comestibles a base de aislado de proteína de soya.

Cuadro 8. Efecto del plastificante y la temperatura en el índice de blancura (WI).

| Plastificante | Temperatura (°C) | Tiempo | | |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Día 1 | Día 15 | Día 30 |
| | | Media \pm EE ¹ | Media \pm EE | Media \pm EE |
| SORB | 90 | 81.11 \pm 0.6 ^{(x)b} | 79.42 \pm 0.6 ^{(y)a} | 75.74 \pm 0.6 ^{(z)b} |
| | 95 | 79.89 \pm 0.6 ^{(x)b} | 75.65 \pm 0.6 ^{(y)b} | 71.49 \pm 0.6 ^{(z)c} |
| GLY | 90 | 81.32 \pm 0.6 ^{(x)b} | 79.47 \pm 0.6 ^{(y)a} | 79.70 \pm 0.6 ^{(y)a} |
| | 95 | 83.32 \pm 0.6 ^{(x)a} | 80.43 \pm 0.6 ^{(y)a} | 80.74 \pm 0.6 ^{(y)a} |
| SORBGLY | 90 | 83.37 \pm 0.6 ^{(x)a} | 80.70 \pm 0.6 ^{(y)a} | 81.63 \pm 0.6 ^{(y)a} |
| | 95 | 83.62 \pm 0.6 ^{(x)a} | 80.21 \pm 0.6 ^{(y)a} | 80.89 \pm 0.6 ^{(y)a} |
| Coeficiente de variación (%) | | 2.62 | 2.98 | 2.9 |

^{a-c} Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Medias con diferente letra en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

¹ EE= Error estándar.

Aplicación de campo. Para objeto de este estudio el mejor tratamiento fue SORB95 ya que sus películas presentaron una mayor resistencia a la tensión, compresión y punción que el resto de tratamientos.

Esta decisión se respalda con la literatura en la cual existe evidencia de que hay una correlación inversa entre la permeabilidad al agua (WVP, por sus siglas en inglés) y la resistencia a la tensión de una película comestible a base de proteína de suero (Chae y Heo 1997). Por lo tanto a mayor resistencia a la tensión tenga una película; menor será su permeabilidad al agua.

McHugh *et al.* (1994), también afirmó que en este tipo de materiales SORB tiene una significativa menor permeabilidad al agua que GLY estando ambos a la misma concentración.

Sabiendo todo lo anterior se procedió a poner a prueba la funcionalidad de esta película utilizándola como barrera al agua en un alimento heterogéneo de alta humedad.

Para el análisis de los datos se partió de dos hipótesis:

- Hipótesis nula: ambas muestras son iguales.
- Hipótesis alterna: las muestras son diferentes.

En el Cuadro 9 se muestra un análisis de los resultados obtenidos de la preferencia en base a la crocancia, textura y preferencia general del producto con y sin película comestible.

Cuadro 9. Análisis de preferencia pareada de enchiladas.

| Variable | Enchilada con película | Enchilada sin película | Chi Cuadrado | Pr > Chi Cuadrado |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|----------------------|
| Crocancia | 46 | 24 | 6.9143 | 0.0086 ¹ |
| Textura | 53 | 17 | 18.5143 | <.0001 |
| Preferencia general | 48 | 22 | 9.6571 | 0.0019 |

¹ Pr < |t|= Valores menores a 0.05 indican diferencias estadísticamente significativas entre muestras.

Dados los resultados presentados en el cuadro anterior se rechazó la hipótesis nula que establecía que ambas muestras eran iguales y se dice entonces que las dos muestras fueron diferentes estadísticamente ($P < 0.05$). Por lo tanto y sabiendo que la muestra que contenía la película fue la que tuvo más votaciones a favor se dice que es diferente al control y preferida por los panelistas para los parámetros: crocancia, textura y preferencia general. Dejando en evidencia estadística la viabilidad del estudio ($P < 0.05$).

Análisis Económico. El análisis de costos que se presenta en el Cuadro 10 se elaboró solamente en base a los costos de los insumos. No se tomaron en cuenta los costos del flete ya que los insumos fueron adquiridos directamente por los autores. Tampoco los costos fijos porque estos varían de un lugar a otro y no son comparables con la demanda energética que tendría la producción de estas películas a una escala mayor. Por consiguiente el valor presentado no es una muestra fidedigna del costo que representaría la manufactura de estas películas a una escala industrial en la Planta de Lácteos Zamorano o cualquier otra entidad que estuviera interesada en utilizar este estudio como apoyo para empezar a producir películas comestibles a base de proteína de suero.

Sin embargo, si es una información útil en cuanto a costos si este experimento se quisiera replicar a una escala de laboratorio tal y como se hizo en este estudio.

Cuadro 10. Costos variables para la elaboración de la película comestible.

| Insumo | Costo por unidad (\$) | Cantidad/ m ² | Unidad | Costo/ m ² |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------|--------------------------|
| Proteína de suero ácido en polvo | 20.67 | 0.083 | kgs. | 1.72 |
| Sorbitol/Glicerol | 52.00 | 0.067 | kgs. | 3.47 |
| Moldes (0.005 m ² c/u) | 0.057 | 200.00 | moldes | 11.40 |
| Costo total/m ² | | | | 16.59 |

Probablemente este costo hubiese sido menor de haber contado con el equipo necesario para deshidratar y concentrar el suero en la Planta de Lácteos Zamorano. Sin embargo el costo de la tecnología de filtración por membranas que se requiere para concentrar dicha proteína es sumamente elevado. Además contar con el equipo no hubiese sido suficiente para disminuir el costo por debajo del proveedor del cual se adquirió, para esto hubiese sido necesario también, tener los altos volúmenes de producción que este maneja a modo de reducir los costos fijos de la operación.

En cuanto a los plastificantes, ambos fueron adquiridos de la misma casa manufacturera y al mismo precio. En base a los dos puntos anteriores, el costo no fue un aspecto a considerar al momento de elegir el mejor tratamiento de este experimento.

Cabe destacar que el costo de hacer 1 m² de película fue de \$ 16.59 para cualquier tratamiento.

Entonces el camino a seguir para tomar la decisión sobre cuál es la mejor combinación a utilizar, debe ir orientado única y exclusivamente al aspecto técnico-científico que para efectos de este estudio fue SORB95. Luego se debe definir si el tratamiento elegido es el ideal para el propósito que se persigue y finalmente hacer un análisis costo-beneficio más profundo que ayude a determinar si el producto en el que van a ser utilizadas las películas justifica o no el uso de una tecnología tan costosa como la que implica la elaboración de las mismas.

4. CONCLUSIONES

- El flujo de procesos propuesto fue factible para producir películas comestibles a base de proteína de suero ácido en polvo a escala de laboratorio.
- Las películas elaboradas a base del plastificante sorbitol tuvieron mayores valores en tensión, compresión y punción; en cambio las películas con glicerol tuvieron un mayor porcentaje de elongación e índice de blancura ($P < 0.05$). El grosor mostró diferencia significativa ($P < 0.05$) para todas las variables, factores e interacciones de estos pero sin ninguna tendencia definida.
- La muestra con la película comestible fue preferida sobre el control en base a su crocancia, textura y preferencia en general.

5. RECOMENDACIONES

- Es necesario hacer una caracterización más amplia de las películas evaluadas en este estudio. Para esto se deberá considerar evaluar más concentraciones de plastificante y proteína como posibles fuentes de variación. Se recomienda disminuir la proporción de plastificante y aumentar la cantidad de proteína ayudándose siempre del flujo de procesos propuesto en este estudio.
- En estudios posteriores se exhorta a realizar las combinaciones de plastificante al nivel molar. Puesto que se comprobó que al hacerlas aritméticamente no se consiguen muchas diferencias significativas entre los tratamientos que contienen en alguna proporción al plastificante de menor peso molecular.
- Se propone aumentar el período de tiempo para la toma de datos por lo menos a 60 días. Esto con el fin de tener una idea más amplia de cómo sería el comportamiento de esta película ya puesta en el mercado.
- Sería de gran rigor científico continuar este estudio desde el punto de vista sensorial. De esta forma se podrían correlacionar color con apariencia y comprobar si las diferencias estadísticas en textura son detectadas también por los panelistas.
- Para uniformizar el grosor se propone retirar las burbujas de aire presentes en la solución, antes de verter, con el uso de una bomba de vacío y además hacer las mediciones de grosor correspondientes con un microscopio de electrones (SEM, por sus siglas en inglés) para obtener datos más precisos.

6. LITERATURA CITADA

Banerjee, R; Chen, H. 1995. Functional properties of edible films using whey protein concentrate. *Journal of Dairy Science* no.78:1673-1683.

Cagri, A; Ustunol, Z; Ryser, ET. 2001. Antimicrobial, mechanical, and moisture barrier properties of low pH whey protein-based edible films containing p-aminobenzoic or sorbic acids. *Journal of Food Science* 66(6):865-870.

Chae, S; Heo, T. 1997. Production and properties of edible film using whey protein. *Biotechnol Bioprocess Engineer* no. 2:122-125.

Galiotta, G; Di Gioia, L; Guilbert, S; Cuq, B. 1998. Mechanical and termomechanical properties of films based on whey proteins as affected by plasticizer and crosslinking agents. *Journal of Dairy Science* no. 81:3123–3130.

Garibay, M; Revah, S; Gómez, L. 2004. *Biotecnología Alimentaria*. Capítulo 6: Productos Lácteos. Editorial LIMUSA. México D.F., México. 196-197p.

Javanmard, M. 2009. Biodegradable Whey protein edible films as a new biomaterials for food and drug packaging. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences* 5(3):129-134.

Jooyandeh, H. 2011. Whey protein films and coatings: a review. *Pakistan Journal of Nutrition* 10(3):296-301.

Kester, JJ; Fennema, OR. 1986. Edible films and coatings: a review. *Food Technology* 40:47–59.

McHugh, TH; Aujard, JF; Krochta, JM. 1994. Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. *Journal of Food Science* 59(2):416-419.

Murdinah, Ghifar, F; Cholid, SY. 2009. Processing of edible coating made of alginate using CaCl₂ and Ca-lactate as gelling agents. *Journal of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology - Special Edition 2009* no 4.

OCDE-FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2005. Depósitos de documentos de la FAO. Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO 2005-2014. Proyecciones para el queso. Roma, Italia. En línea. Consultado el 30 de agosto del 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y9492s/y9492s10.htm#bm36>.

OCDE-FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2005. Depósitos de documentos de la FAO. Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO 2005-2014. Proyecciones para el suero en polvo y la caseína. Roma, Italia. En línea. Consultado el 30 de agosto del 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y9492s/y9492s12.htm>.

Ozdemir, M; Floros, JD. 2001. Analysis and modeling of potassium sorbate diffusion through edible whey protein films. *Journal of Food Engineering* 47(2):149-156.

Ozdemir, M; Floros, JD. 2009. Optimization of edible whey protein films containing preservatives for mechanical and optical properties. *Journal of Food Engineering* 84(2008):116–123.

Pérez-Gago, MB; Krochta, JM. 1999. Water vapor permeability of whey protein emulsion films as affected by pH. *Journal of Food Science* 64(4):695-698.

Pérez-Gago, MB; Nadaud, P; Krochta, JM. 1999. Water vapor permeability, solubility and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. *Journal of Food Science* 64(6):1034-1037.

Pérez-Gago, MB; Krochta, JM. 2002. Formation and properties of whey protein films and coatings. CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos de América. 159, 162, 171p.

Pintado, C; Ferreira, M; Sousa, I. 2009. Control of pathogenic and spoilage microorganisms from cheese surface by whey protein films containing malic acid, nisin and natamycin. *Food Control* no.21:240–246.

Puebla, C. 2003. Whiteness assessment: a primer. Concepts, determination and control of perceived whiteness. Axiphos GmbH. Alemania. 11, 27p.

Rhim, J; Wu Y; Weller, C; Schnepf, M. 1999. Physical characteristics of a composite film of soy protein isolate and propyleneglycol alginate. *Journal of Food Science* 64(1):149-152.

Shon, J; Chin, KB. 2008. Effect of whey protein coating on quality attributes of low-fat, aerobically packaged sausage during refrigerated storage 73(6):C469-C475.

Skurtys, O; Acevedo, C; Pedreschi, F; Enrione, J; Osorio, F; Aguilar, JM. 2011. Food hydrocolloid edible films and coatings. 1-11 p.

Sothornvit, R; Olsen, CW; McHugh, TH; Krochta, JM. 2003. Formation conditions, water vapor permeability and solubility of compression molded whey protein films. *Journal of Food Science* 68(6):1985-1989.

7. ANEXOS

Anexo 1. Proyecciones para el mercado del queso hasta el año 2014 en los EE. UU.
Fuente: Adaptado de OCDE-FAO (2005).

| Parámetros | unidad | Año | | |
|---------------|------------|-------|-------|-------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 |
| Producción | kt pw | 4,977 | 5,046 | 5,114 |
| Consumo | kt pw | 5,150 | 5,218 | 5,289 |
| Importaciones | kt pw | 237 | 239 | 242 |
| Exportaciones | kt pw | 62 | 64 | 66 |
| Precio | USD/100 kg | 356 | 354 | 360 |

Anexo 2. Proyecciones para el mercado de la proteína del suero en polvo hasta el año 2014 en los EE. UU.
Fuente: Adaptado de OCDE-FAO (2005).

| Parámetros | unidad | Año | | |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 |
| Producción | kt pw | 699.4 | 722.6 | 745.8 |
| Consumo | kt pw | 551.9 | 572.2 | 592.6 |
| Exportación | kt pw | 156.0 | 158.9 | 161.7 |
| Precio | USD/100kg | 41.7 | 42.3 | 42.3 |

Anexo 3. Boletas de evaluación sensorial utilizadas en la prueba de preferencia pareada.

Evaluación sensorial de enchiladas con filmes comestibles

Nombre: _____ No. de Panelista: _____

Sábado, 08 de septiembre del 2012

Por favor pruebe las enchiladas de izquierda a derecha. Limpie su paladar entre cada muestra con el agua y las galletas suministradas. Solo coma la mitad de la enchilada para la prueba.

Ahora que ha probado ambos productos marque con una "X" el que prefiera según los siguientes parámetros:

- | | | |
|---|-----------|-----------|
| 1. ¿Cuál muestra prefiere según su crocancia? | 081 _____ | 208 _____ |
| 2. ¿Cuál muestra prefiere según su textura? | 081 _____ | 208 _____ |
| 3. ¿Qué muestra prefiere en general? | 081 _____ | 208 _____ |

Comentarios

¡Muchas Gracias!

Evaluación sensorial de enchiladas con filmes comestibles

Nombre: _____ No. de Panelista: _____

Sábado, 08 de septiembre del 2012

Por favor pruebe las enchiladas de izquierda a derecha. Limpie su paladar entre cada muestra con el agua y las galletas suministradas. Solo coma la mitad de la enchilada para la prueba.

Ahora que ha probado ambos productos marque con una "X" el que prefiera según los siguientes parámetros:

- | | | |
|---|-----------|-----------|
| 1. ¿Cuál muestra prefiere según su crocancia? | 208 _____ | 081 _____ |
| 2. ¿Cuál muestra prefiere según su textura? | 208 _____ | 081 _____ |
| 3. ¿Qué muestra prefiere en general? | 208 _____ | 081 _____ |

Comentarios

¡Muchas Gracias!