

**Elaboración de queso Zamorella con
almendras revestidas a base de almidones,
proteína de suero de leche y glicerina**

Nelson Ivan Merino Morán

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Elaboración de queso Zamorella con almendras revestidas a base de almidones, proteína de suero de leche y glicerina

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

Nelson Ivan Merino Morán

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Elaboración de queso Zamorella con almendras revestidas a base de almidones, proteína de suero de leche y glicerina

Presentado por:

Nelson Ivan Merino Morán

Aprobado:

Juan Ruano, D.Sc.
Asesor Principal

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

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Elaboración de queso Zamorella con almendras revestidas a base de almidones, proteína de suero de leche y glicerina

Nelson Iván Merino Morán

Resumen: El objetivo de este proyecto fue elaborar un queso Zamorella con almendras revestidas a base de almidón de maíz y yuca, proteína de suero de leche y glicerina. En la primera fase de la investigación se evaluó el efecto de las variables proteína de suero de leche y glicerina sobre las propiedades físicas y de barrera de la película comestible utilizando la metodología superficie respuesta. Se evaluó grosor, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua, perforación y elongación. Para las unidades experimentales se establecieron cuatro puntos factoriales, cuatro axiales y cinco repeticiones de un punto central. Se determinó mediante la función de utilidad una combinación óptima de 6.00 % de proteína de suero de leche y 44.32% de glicerina (p/v). Para la segunda fase se evaluó el efecto del recubrimiento comestible en las propiedades fisicoquímicas de la almendra en el queso Zamorella. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), donde se evaluaron dos tratamientos y dos medidas repetidas en el tiempo (uno y quince días). Las características físico-químicas evaluadas fueron: color, textura, humedad e índice de estabilidad oxidativa. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y a través del tiempo. Se determinó el costo variable de \$2.23 por libra de queso Zamorella con almendras revestidas con la combinación óptima.

Palabras clave: Películas comestibles, polímeros y recubrimientos comestibles.

Abstract: The purpose of this was to elaborate Zamorella cheese with coated almonds with corn and yucca, whey protein and glycerin based edible film. In the first phase of the investigation it was evaluated the effect of whey protein and glycerin over the physical and mechanical properties of the edible film using the methodology of surface response. Thickness, water vapor permeability, water solubility, perforation and elongation were evaluated. The experimental units were 4 factorial points, 4 axial points and 5 repetitions for the central point. It was established that the optimum combination was 6.00 % of whey protein and 44.32 % of glycerin (w/v). The effect of the edible film in the physical and chemical properties of the almond in the Zamorella was evaluated in the second phase of the experiment. It was used a Completely Randomized Design with 2 treatments and 2 repeated measures of 1 and 15 days. The evaluated physical and chemical properties were: color, texture, moisture and oxidation stability index. There was a significant difference between de cheeses with almonds. Therefore, the variable cost per pound for the Zamorella with coated almonds with optimum combination was \$2.23.

Key words enzymatic Edible films, polymers and edible coatings.

CONTENIDO

Portadilla	ii
Página de firmas	iii
Resumen.....	iv
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4. CONCLUSIONES.....	42
5. RECOMENDACIONES.....	43
6. LITERATURA CITADA.....	44
7. ANEXOS	50

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción del diseño experimental.....	5
2. Niveles de variables independientes para la formulación de recubrimientos a base de proteína.	6
3. Delineamiento del diseño experimental completo.	7
4. Diseño experimental Bloques Completos al Azar (BCA).	13
5. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en el grosor de los tratamientos.....	15
6. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado al grosor de una película comestible.	16
7. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la permeabilidad al vapor de agua de los tratamientos.....	18
8. Coeficiente de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado a la espesura de una película comestible.	19
9. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la solubilidad en agua de los tratamientos.	21
10. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la solubilidad en agua para una película comestible.....	22
11. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina sobre la fuerza de perforación de los tratamientos.....	24
12. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la fuerza de perforación de una película comestible.....	25
13. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la deformación por perforación de los tratamientos.....	27
14. Coeficiente de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la deformación por perforación de una película comestible.....	28
15. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la tensión de los tratamientos.	30
16. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la tensión de una película comestible.	31
17. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en el módulo de elasticidad de los tratamientos.....	33

Cuadros	Página
18. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático en el módulo de elasticidad de una película comestible.	34
19. Análisis físico de color: valor de luminosidad (L*).	37
20. Análisis físico de color: valor a*.	38
21. Análisis físico de color: valor b*.	38
22. Análisis de textura: Dureza (N).	39
23. Análisis químico: Humedad (%).	40
24. Análisis químico: OSI (h).	41
25. Análisis de costos variables para el quezo Zamorella con almendras.	41

Figuras	Página
1. Flujo de proceso del desarrollo de un recubrimiento comestible a base proteína de suero de leche, glicerina y almidón de maíz y yuca para almendras.	4
2. Representación del análisis de perforación (Adaptado)	9
3. Curva característica de la resistencia por tensión y deformación.	10
4. Flujo de proceso del zamorella con almendras revestidas.	12
5. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre el grosor (mm) de una película comestible.	17
6. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la permeabilidad al vapor de agua (g.mm/h.m ² .kPa) de una película comestible.	20
7. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la solubilidad (%) de una película comestible.	23
8. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la fuerza de perforación (N) de una película comestible.	26
9. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina en la deformación por perforación (%) de una película comestible.	29
10. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la tensión por elongación de una película comestible.	32
11. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre el módulo de elasticidad de una película comestible.	35
12. Valores óptimos de las variables independientes sobre las propiedades físicas y de barrera de una película comestible.	36

1. Valores F calculado $P < 0.1$ para variables grosor, PVA, solubilidad en agua, fuerza de perforación, DP, tensión y módulo de elasticidad.....	50
2. Formulación del recubrimiento óptimo a base de almidones, proteína de suero de leche y glicerina.	51
3. Hoja de evaluación sensorial usada en análisis de preferencia.	52
4. Tabla de puntos de porcentaje de la distribución F ($P = 0.10$).	53
5. Tabla de valores críticos para Chi cuadrado.....	54

1. INTRODUCCIÓN

La industria láctea es una de las áreas más importantes e investigadas dentro de la industria alimentaria, porque a través de los años, la leche ha sido y seguirá siendo utilizada como materia prima para la elaboración de cremas, helados, yogur, quesos y otros productos. Esta industria necesita desarrollar productos atractivos y nutritivos que satisfagan las necesidades y expectativas de los consumidores (Padilla, 2002). Esto se puede lograr dándole un valor agregado a los productos lácteos (Acevedo y García, 2012).

El potencial de la leche que se utiliza para la fabricación de queso está determinado principalmente por el contenido de proteínas coagulables (caseínas), la materia grasa, y la calidad sanitaria-microbiológica de la leche (Inda, 2000). Uno de los quesos que más se consumen en el mundo es el mozzarella. Es un queso fresco, de pasta hilada, con un contenido de grasa sobre el extracto seco del 44% como mínimo (Cenzano, 1992). El mozzarella es un alimento rico en proteínas, fósforo y calcio. Es un alimento bueno para los huesos, ayuda a mantener dientes sanos, mejora la resistencia física y las funciones biológicas del cerebro (FAO, 2013).

La almendra es el fruto del almendro. Posee una película de color canela que la envuelve, además de una cáscara exterior que no es comestible. El sabor es dulce y la parte comestible representa el 40% del fruto y se producen sobre todo en los países del Mediterráneo, Estados Unidos y Asia (FAO, 2009). Las almendras son semillas que contienen proteína y también son ricas en zinc, hierro, calcio, magnesio, fósforo y potasio (USDA, 2011). Hay estudios que demuestran que el consumo diario de almendras reduce la concentración de lipoproteínas de baja densidad, las cuales están ligadas a diagnosticar niveles de colesterol altos en las personas (Berryman *et al.*, 2015). También hay estudios que indican que las almendras ayudan a reducir el peso corporal (St-Onge, 2005).

Padilla (2002), elaboró un queso crema con 1.5% de loroco, con el propósito de generar un valor agregado utilizando la flor de la planta de loroco, dándole un sabor diferente al queso crema. El producto fue bien aceptado por los panelistas pero aún no ha sido comercializado. Acevedo y García (2012), elaboraron un queso mozzarella relleno con 30% de ciruela en almíbar. Este producto fue aceptado por los consumidores y obtuvo resultados positivos en sabor, color, textura y apariencia; generando un valor agregado al mozzarella. La marca Sargento Foods Inc. ha lanzado al mercado un producto de snacks balanceados. Estos snacks son una combinación de queso natural, nueces tostadas y fruta deshidratada. Sargento Foods Inc. está añadiendo a su gama snacks de queso y ampliando sus opciones de bocadillos más allá de queso por primera vez. Cada snack portátil tiene 7 g de proteína y 180 calorías, el peso neto es de 425 gramos y el precio de venta es de \$3.69 (IFT, 2015).

Los revestimientos son una forma particular de películas aplicadas directamente a la superficie de un material. Los revestimientos comestibles mejoran la calidad de productos alimenticios, protegiéndolos del deterioro físico químico y biológico (Han y Gennadios, 2005). La aplicación de los recubrimientos comestibles puede mejorar la fuerza física de los productos alimenticios, reducir la aglomeración de partículas y mejorar las propiedades táctiles y visuales en la superficie del producto (Cuq *et al.*, 1995). Los recubrimientos también protegen los alimentos de la migración de humedad, crecimientos microbiológico, cambios químicos por la luz, oxidación de nutrientes, etc.

El suero de leche es una fuente significativa de proteínas funcionales β -Lactoglobulina y α -Lactoalbumina principalmente. Las proteínas de suero de leche son ideales para la formación de películas comestibles por su alto contenido proteico (Galieta, 2001). Sin embargo, es necesaria la previa desnaturalización de la β -Lactoglobulina y la α -Lactoalbumina, para exponer los grupos sulfhídrico (-SH) y disulfuro (S-S) encubiertos en el centro hidrofóbico de la estructura globular terciaria nativa de estas proteínas. La posterior formación de enlaces disulfuro intermoleculares principalmente entre unidades monoméricas de la β -Lactoglobulinas, promueve la generación de una red tridimensional estable (Monahan *et al.*, 1993). Además se debe agregar un plastificante (glicerol o sorbitol) para disminuir la densidad y reversibilidad de las interacciones intermoleculares e incrementar la movilidad de las cadenas y en consecuencia la flexibilidad de la película (Banker, 1996).

Esta investigación se realizó en dos fases. Primero se evaluó cual es la mejor combinación de un revestimiento comestible para la almendra a base de proteína de suero de leche, almidón de maíz y yuca y glicerina. En la segunda fase de la investigación se midió el comportamiento de las almendras revestidas dentro del queso Zamorella.

El propósito del estudio fue la elaboración de queso Zamorella con almendras revestidas a base de almidones, proteína de suero de leche y glicerina por lo cual, se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar la combinación de proteína de suero de leche y glicerina que optimice las propiedades físicas y de barrera de un recubrimiento comestible para almendras.
- Evaluar el efecto del recubrimiento comestible en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la almendra en el queso Zamorella.
- Estimar los costos de producción del mejor producto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos y en la Planta de Lácteos de Zamorano, ambos ubicados en la Escuela Agrícola Panamericana en el km 32 al Este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán, CA.

Materia prima. Se utilizó proteína de suero de leche (PS), adquirida por medio del Grupo ASEAL, localizado en San Pedro Sula, Honduras y almidón de maíz (AM) “*Zea mays*” y almidón de de yuca (AY) “*Manihot sculenta*” fueron adquiridos por medio de la “Distribuidora del Caribe”. La glicerina fue adquirida por medio de la empresa “JG Scientific”. Ambos productos adquiridos en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.

Elaboración de filmes. Se realizaron pruebas preliminares para determinar el flujo de proceso, cantidad de proteína de suero de leche (PSL) y almidones de maíz y yuca, cantidad de glicerina (peso/volumen). La cantidad de agua utilizada es una relación de 1:10 (por un gramo de sólidos se agrega 10 mL de agua). Se utilizó el método de casting para la preparación de soluciones filmogénicas (SF). Se mezcló 100 mL de agua con la proteína de suero de leche por 20 minutos a 30°C. Gradualmente se incrementó la temperatura hasta alcanzar 90°C por 30 minutos para lograr la desnaturalización de las proteínas (Chae y Heo, 1997). Una vez realizada la solución se mezcló con una solución de almidón de maíz y almidón de yuca. Se agitó a 500 rpm hasta llegar a 50°C. Se le agregó la solución de glicerol y agua. La mezcla final se calentó hasta 70 ± 1 °C durante 5 minutos. Posteriormente se enfrió la solución a 60°C. El proceso de elaboración de la solución filmogénica se detalla en la Figura 1 y la formulación con mejores características se detalla en el Anexo 2.

Secado y acondicionamiento de filmes. Después del enfriamiento se vertieron 30 gramos de SF en platos plásticos de 162 cm² de área. Para el secado se utilizó una cámara de estabilidad de vida anaquel a una temperatura de 42°C durante 24 horas. Después del secado se retiraron los filmes manualmente de la placa y se almacenaron en un desecado a 25°C con una humedad relativa de 85% con una solución saturada de Cloruro de Sodio (Soto y Candelas, 2012) durante seis y nueve días.

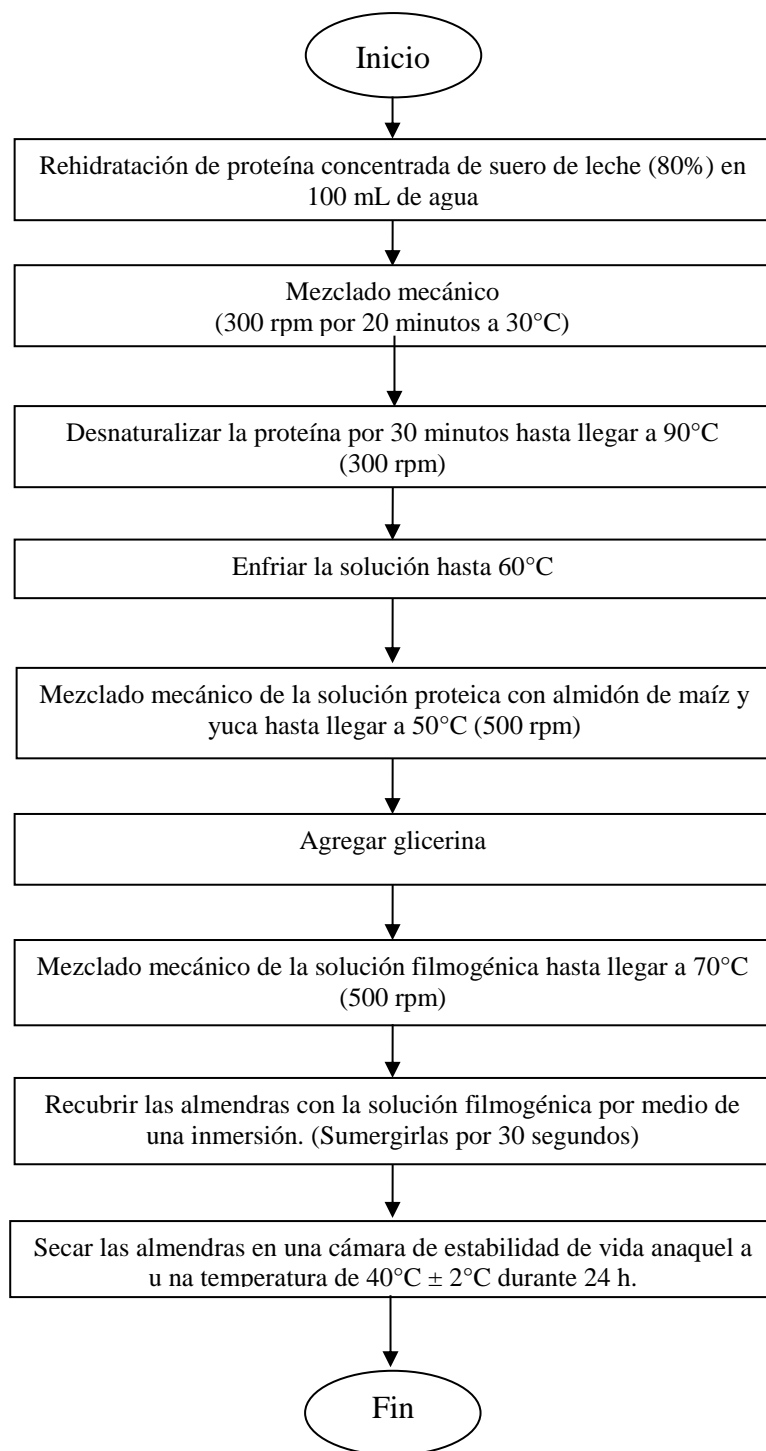


Figura 1. Flujo de proceso del desarrollo de un recubrimiento comestible a base proteína de suero de leche, glicerina y almidón de maíz y yuca para almendras.

Diseño experimental. Se estableció un experimento factorial completo 2x2, estadísticamente delineado en la metodología de superficie de respuesta con un diseño de composición central rotacional de segundo orden (DCCR). Los parámetros del proceso fueron codificados (-1, 0, +1), de acuerdo a la ecuación 1.

$$x_i = X_i - \frac{Z\Delta}{x_i} \quad [1]$$

Dónde:

x_i = Valor codificado de la variable X_i

X_i = Valor real de la variable

Z = Valor real de la variable en el punto central

Δx_i = Valor del intervalo de variación de x_i

Para obtener un entorno experimental más acotado se delinearón las variables axiales $-\alpha$ y $+\alpha$, este valor depende del número factorial ($F = 2k$), donde K es el número de variables independientes ($K=2$), los valores son definidos por la ecuación 2.

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2k)^{1/4} = 1.414 \quad [2]$$

El número de unidades experimentales para esta metodología es un diseño factorial completo definido por la ecuación 3.

$$n = 2k + 2k + m \quad [3]$$

Dónde:

2^k = número de puntos factoriales

$2k$ = número de puntos axiales

m = número de réplicas del punto central

Se utilizaron dos variables independientes y tres niveles codificados usando un total de 13 unidades experimentales, siendo cuatro factoriales combinación de los niveles -1 y +1, 4 axiales $-\alpha$ y $+\alpha$, cinco puntos centrales sirviendo como estimado del error experimental y determinando la precisión del modelo matemático y un control (Cuadro 1). El experimento se condujo por triplicado para determinar la variabilidad de los datos.

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental

Expresión	Cantidad de puntos	Tipo de puntos
$2^k = 2^2$	4	Factoriales
$2k = 2*2$	4	Puntos Axiales
M	5	Puntos Centrales
Control	1	
	14	Ensayos

Fuente: (Mendieta, 2014); adaptado por el autor.

El análisis de los resultados experimentales se describe como el comportamiento de un sistema en el que se combinan dos variables independientes u una variable dependiente donde la respuesta es una función de los niveles en los que se combinan (Box y Draper, 1959), como se determina en la ecuación 4:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad [4]$$

Se realizó también un análisis de regresión para ajustar un polinomio de segundo orden con las variables independientes para cada variable respuesta. La expresión general utilizada para predecir el comportamiento de una respuesta es descrita en la ecuación 5:

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon) \quad [5]$$

Dónde:

- Y_i = Función Respuesta
- X₁ y X₂ = Valores de las variables independientes
- β₀ = Coeficiente relativo con la interpretación del eje
- β₁ y β₂ = Coeficientes lineales estimados por el método de mínimos cuadrados
- β₁₁ y β₂₂ = Coeficientes de variables cuadráticas
- β₁₂ = Coeficiente de interacción entre variables independientes
- ε = Error experimental

El arreglo del modelo propuesta fue evaluado por el método regresión por paso y el análisis de residuos fue clasificado como falta de ajuste, la comparación de la proporción de la varianza explicada por el modelo, es decir por el R². Así los coeficientes de la ecuación 5 del mejor modelo polinomio, fueron ajustados a las respuestas del diseño experimental (Moro, 2013).

Los niveles de las variables independientes son descritas como la combinación de todos los niveles, axiales (α= 1.414) y puntos centrales (Cuadro 2), estos son referentes a las proporciones utilizadas en la formulación.

Cuadro 2. Niveles de variables independientes para la formulación de recubrimientos a base de proteína.

Variables	Niveles				
	-α	-1	0	1	+α
X ₁	4.00	4.60	6.00	7.42	8.00
X ₂	30.74	35.28	46.24	50.00	51.56

X₁: proteína de suero de leche (%)

X₂: glicerina (%)

El delineamiento de los experimentos comprende la expresión completa de todas las variables independientes codificadas y decodificadas las cuales fueron usadas para la obtención de los análisis de varianza y coeficientes de regresión, así como para la diagramación de las superficies de las respuestas respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Delineamiento del diseño experimental completo.

Tratamiento	Niveles de variables codificadas		Niveles de variables decodificadas	
	X ₁	X ₂	x ₁	x ₂
1	1	1	4.60	35.28
2	1	-1	4.60	50.00
3	-1	1	7.42	35.28
4	-1	-1	7.42	50.00
5	-1.41	0	4.00	46.24
6	1.41	0	8.00	46.24
7	0	-1.41	6.00	30.74
8	0	1.41	6.00	51.66
9	0	0	6.00	46.24
10	0	0	6.00	46.24
11	0	0	6.00	46.24
12	0	0	6.00	46.24
13	0	0	6.00	46.24
*14 (Control)	-	-	0.00	46.24

X₁ y x₁= % proteína

X₂ y x₂= % glicerina

* Sin adición proteica.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis con un apego a la prueba F al 10% de significancia, el modelo de regresión fue significativo cuando el valor de la prueba F calculado fue mayor o igual al F de la tabla de puntos de distribución con lo cual se pudo trazar la superficie (Rodrigues y Lemma, 2012).

El procesamiento de los datos fue realizado a través del programa Statistica 7.0 utilizando las variables independientes codificadas para la obtención de coeficientes de regresión y las variables decodificadas para la generación de las superficies de respuesta.

Se realizó una separación de medias LS Means y un análisis de varianza ANDEVA con un nivel de probabilidad del 5% utilizando el programa SAS[®] versión 9.3 (Statistical Analysis System) para todas las variables respuesta así como para las que no generaron un modelo predictivo ni tendencial.

Caracterización de la película comestible.

Grosor. El grosor de los filmes fue determinado utilizando un micrómetro manual (± 0.01 mm de error) marca Starrett. El grosor final se determinó de manera aleatoria con 30 puntos (CAO *et al.*, 2007).

Permeabilidad al vapor de agua. Se determinó gravimétricamente a 25 °C de acuerdo con el método E96-80 descrito por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) modificado según Gontard (1991) y Vicentini (2003). Las películas se cortaron en forma circular con un diámetro de 30 mm aplicados en vasos volumétricos adaptados con agua destilada. Los vasos se colocaron en desecadores con silica almacenados a 25 °C. El peso del vaso se determinó cada 24 h durante nueve días a través de una balanza analítica. El flujo de permeabilidad al vapor de agua (Fva) se calculó según la ecuación 6:

$$Fva = \frac{g}{tA} \quad [6]$$

Donde A es el área de permeabilidad, g es la pérdida de peso y t es el tiempo total en horas. Posteriormente, la permeabilidad al vapor de agua (PVA) se calculó a partir de la ecuación 7:

$$Pva = \left(\frac{g}{tA} \right) \times \left(\frac{X}{\Delta P} \right) \quad [7]$$

Donde X es la media del espesor del bioplástico y ΔP la diferencia de presión de vapor del medio ambiente que contiene el desecador (0 kPa, 25°C) y el agua pura (3167 kPa a 25°C).

Solubilidad en agua. La solubilidad en agua del film comestible se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Gontard *et al.* (1992) con adaptación. Los filmes se cortaron en forma circular con un diámetro de 20 mm y fueron pesados, luego sumergidos en beakers con 50 mL de agua destilada. Se agitaron lentamente durante 24 horas a 25 °C. Después se retiraron las muestras y se secaron (105 ± 2 °C durante 24 horas) en una estufa para determinar el peso del material que fue solubilizado. La solubilidad se expresa de acuerdo con la ecuación 8:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{PI - PF}{PI} \right) \right) * 100 \quad [8]$$

Donde PI es el peso inicial del film comestible y PF es el peso final del material seco que no se solubilizo.

Propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de interés fueron perforación y elongación. Ambas pruebas se realizaron en un analizador de textura Brookfield CT3 4500. Se realizaron cinco pruebas de perforación y elongación, respectivamente a cada muestra.

Perforación. La fuerza y distancia a la rotura se determinaron en las pruebas de perforación de acuerdo con la metodología establecida por literatura (Gontard, 1991; Vicentini, 2003 y Rocha, 2009) con adaptaciones. Las muestras con un tamaño de 40 mm de longitud y 15 mm de ancho eran colocadas en un vaso gravimétrico y atravesado por una sonda de 3 mm de diámetro, moviéndose a una velocidad de 0.9 cm/s (Figura 1.) La deformación se calculó en base al desplazamiento de la sonda hasta la rotura y la distancia media de la película según la ecuación 9:

$$\text{Deformación (h)} = \left(\frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{40} \right) \times 100 \quad [9]$$

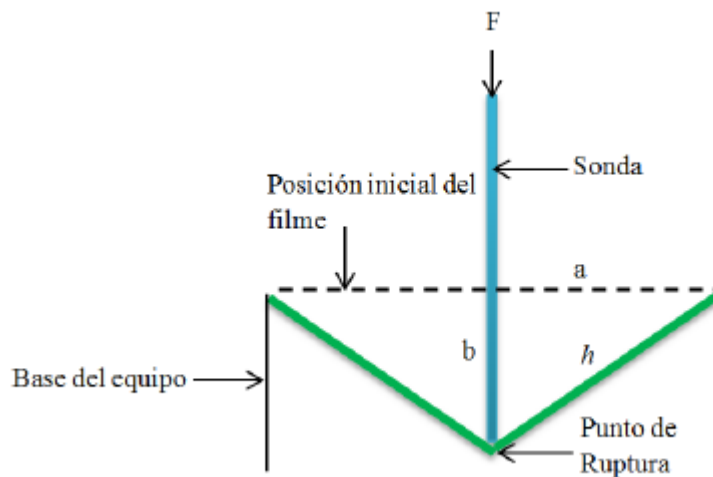


Figura 2. Representación del análisis de perforación (Vicentini, 2003)

Elongación. Mediante el test de elongación podemos derivar tres propiedades: Tensión, deformación y módulo de elasticidad (Vicentini, 2003). Las propiedades expresan la resistencia de un material a la elongación y a la ruptura, cuando se somete a tensión, el módulo de elasticidad indica cuan rígido es un material (Oliveira *et al.*, 1996). El alargamiento a la rotura y módulo de elasticidad se determinó basado en el método D 828-95^a de la ASTM 1995. Las películas se cortaron en piezas de 40 mm de largo y 15 mm de ancho. La distancia inicial (LO) entre las mordazas fue de 30 mm y la velocidad de tracción de 0.9 mm/s. La tensión de rotura se calculó mediante la relación entre la fuerza y el área de la sección transversal inicial de la película y la deformación a la rotura considerando como la deformación lineal $[(1-l_0)/ l_0]$, se determinó por la curva de tensión-deformación. El módulo de elasticidad se calculó como la región lineal de la curva de tensión en función a la deformación (Figura 3).

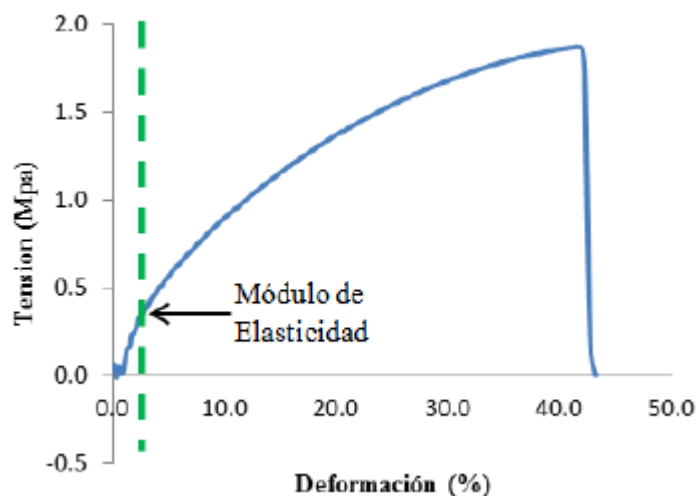


Figura 3 Curva característica de la resistencia por tensión y deformación (Vicentini, 2003).

Evaluación de las almendras del queso Zamorella.

Pruebas preliminares. Para determinar el porcentaje de almendra adecuado en el queso Zamorella, se realizaron pruebas preliminares con una concentración de 1.0, 1.5 y 2.0% de almendras en 4 kg de cuajada, una vez elaborado el queso se colocó en el cuarto frío a 4°C por 24 horas y después se cortó y empacó al vacío. A las 24 horas se determinó que la concentración adecuada de almendra era de 2.0%.

Obtención y recubrimiento de la almendra. Se compró almendras enteras marca Member's Selection en bolsas de 907 g en el supermercado Price Smart ubicado en Tegucigalpa.

La almendra fue sumergida en la solución filmogénica por 30 segundos para un recubrimiento homogéneo (Gounga *et al.*, 2008). Las almendras recubiertas fueron secadas en una cámara de estabilidad de vida anaquel a una temperatura de 40°C ± 2°C durante 24 horas. Después del secado se empacaron las almendras al vacío por 24 horas. Luego se utilizaron para el procesamiento del queso.

Se utilizaron dos concentraciones de solución filmogénica. La primera con 6% de proteína y 44.3% de glicerina, siendo el resultado óptimo de las propiedades de barrera de la caracterización del film. La segunda con 4.6% de proteína y 50% glicerina, siendo el segundo mejor resultado en base a las medias de las propiedades de barrera de la caracterización del film.

Elaboración del queso Zamorella con almendras recubiertas. En la planta de lácteos de Zamorano se utilizaron dos lotes de producción de queso Zamorella. Un lote para realizar las pruebas preliminares con 1.0, 1.5 y 2.0% de concentración de las almendras para el queso. Una vez elaborado el queso se colocó en el cuarto frío a 4°C por 24 horas y

después se cortó y empacó al vacío (Figura 4). A las 24 horas se determinó que la cantidad adecuada de almendras era de 2.0%. Esto debido a que las cantidades 1.0 y 1.5% no eran suficientes dentro del queso.

El lote restante se utilizó para realizar el queso con 2% de almendras recubiertas. Se elaboraron tres tipos de queso dentro de ese lote, con el fin de tener tres tipos de queso con almendras recubiertas a diferentes concentraciones de solución filmogénica. Las concentraciones fueron 6% de proteína y 44.3% de glicerina, 4.6 % de proteína y 50% de glicerina y 0% de solución filmogénica.

Análisis microbiológico de coliformes. La siembra para el conteo de coliformes totales se realizó al día catorce, almacenando los platos petri a 37°C dentro de un incubadora. El medio de crecimiento fue Violet Red Bile Agar (VRBA) de Biomark™ Laboratories (0.04 g/mL agua destilada) para la siembra y agua peptonada de Biomark™ Laboratories (0.02 g/mL agua destilada) para la dilución de las muestras. Se realizó mediante técnica de vertido (pour plate), para cada tipo de queso la siembra se realizó por triplicado y el conteo se realizó a las 24 horas.

Análisis sensorial de preferencia. Se realizó una prueba de ordenamiento (ranking) de acuerdo a preferencias al día quince, siendo uno la muestra más preferida y tres la menos preferida. La evaluación fue realizada en el puesto de ventas de la Escuela Agrícola Panamericana por un panel de 130 personas. Los datos obtenidos fueron analizados mediante la prueba de Friedman con la siguiente ecuación 10.

$$T = \left(\frac{12}{(b)(t)(t+1)} \right) (\sum X^2) - 3b(t+1) \quad [10]$$

Donde b es el número de panelistas, t el número de muestras y X la suma de ordenamientos. Se calculó un valor T del experimento para compararlo con un X^2 crítico. Si T calculado es mayor a X^2 tabular, si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

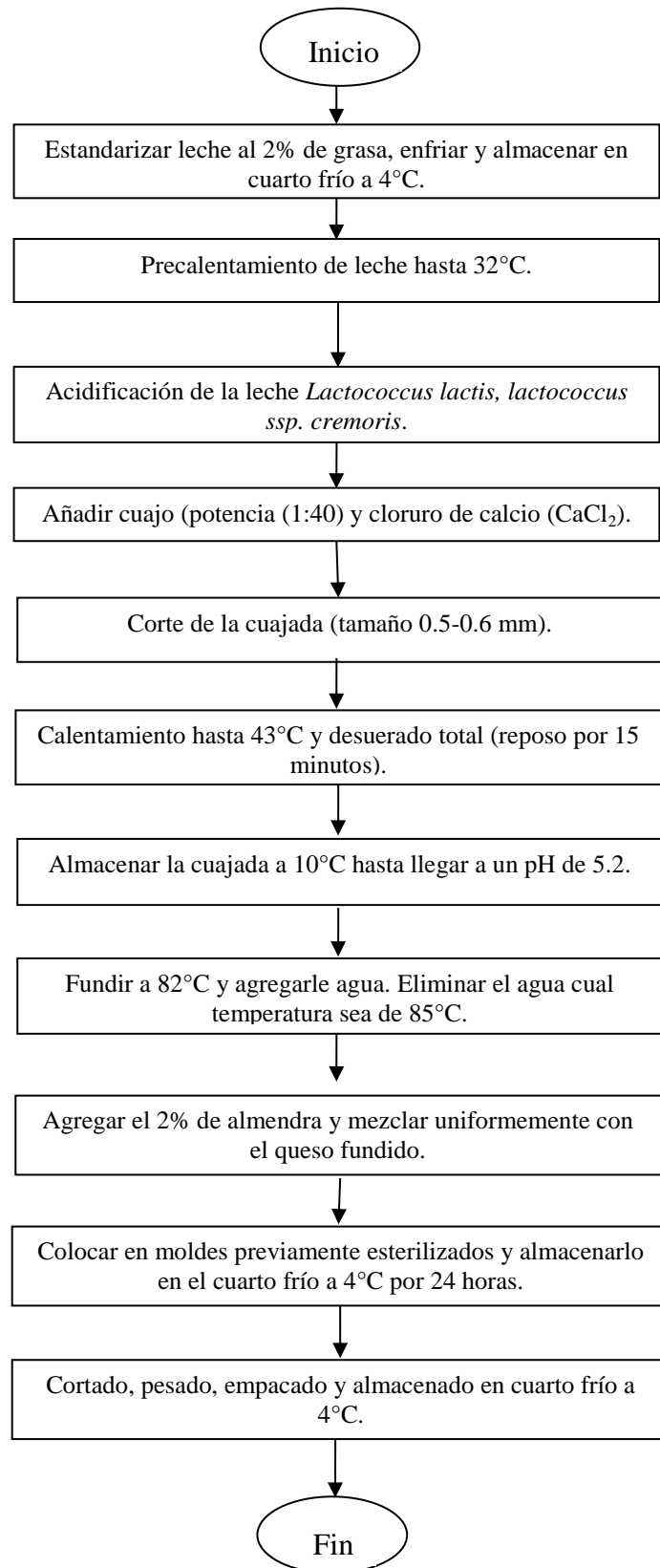


Figura 4. Flujo de proceso del Zamorella con almendras revestidas.

Diseño experimental. Se evaluaron dos tipos de almendra (almendra sin revestimiento y con revestimiento) y un porcentaje de almendras (2%) en el queso Zamorella. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA). Se realizaron tres repeticiones y dos medidas repetidas en el tiempo (uno y quince días) para evaluar los dos tratamientos, de los que se obtuvieron 12 unidades experimentales. El diseño experimental es detallado en el cuadro 4.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo (1 y 15 días).

Tratamientos	Días	
	Día 1	Día 15
Almendra sin revestimiento	T1	T1
Almendra con revestimiento	T2	T2

T = tratamientos

Análisis estadístico. Se realizó una separación de medias DUNCAN y un análisis de varianza ANDEVA con nivel de probabilidad del 5% utilizando el programa SAS[®] versión 9.3 para todas las variables de los análisis físicos.

Análisis físicos. Se realizaron análisis físicos para los dos tratamientos en el día uno y quince. Para estos análisis las almendras fueron extraídas del queso Zamorella.

Color. Para la medición del color de la almendra se utilizó el Colorflex-Hunter Lab. Se analizaron los tratamientos por triplicado. Los valores fueron registrados en las escalas L*, a*, b*. El valor L* cuantifica la claridad en una escala de 0-100, donde 0 corresponde a negro absoluto (oscuro) y 100 corresponde a blanco absoluto (claridad). El valor a* cuantifica el espectro de coloración verde al rojo, donde “-a” corresponde a verde y “+a” corresponde a rojo. El valor b* cuantifica para el espectro azul al amarillo, siendo “-b” azul y “+b” amarillo (Servet, 2007).

Textura. Para determinar la dureza de cada una de las almendras se utilizó el analizador de textura Brookfield CT3 4500. Se utilizó la sonda TA7 a una velocidad de 2 mm/s en el modo de compresión (Brookfield, 2005). Los análisis de los tratamientos se realizaron por triplicado y los valores se registraron en Newtons.

Análisis químicos. Se realizaron análisis químicos para los dos tratamientos en el día uno y quince. Para estos análisis las almendras enteras fueron extraídas del queso Zamorella.

Humedad. Se estimó la humedad de las almendras utilizando el método de la AOAC 952.08. El cálculo se realizó con la ecuación 11.

$$\%H = \frac{\text{gms}}{\text{gmh}} \times 100 \quad [11]$$

Donde %H es el porcentaje de humedad, gms gramos de muestra seca y gmh gramos de muestra húmeda.

Índice de estabilidad oxidativa. Para determinar la oxidación de cada una de las almendras se utilizó el analizador de índice de estabilidad oxidativa 743 Rancimat. Se utilizó el método propuesto por Rossmann y Kalcher (2012). Se redujo la almendra a un tamaño de partícula de 0.7-1.0 cm y luego se pesó 10 gramos de muestra por tubo de ensayo. Se colocó en el equipo y se programó en base al método. Los análisis de los tratamientos se realizaron por triplicado y los valores se registraron en horas.

Análisis de costos. Para el mejor tratamiento se efectuó un análisis considerando como costos variables de producción la materia prima empleada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la película comestible. Grosor. El grosor es la distancia perpendicular entre dos superficies, el material que formará la matriz es un parámetro importante para la elaboración de películas plásticas. El espesor determina información sobre las propiedades mecánicas y de barrera (Bertuzzi *et al.*, 2002).

Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos, con un rango de 0.23 hasta 0.29 mm de grosor (Cuadro 5). El tratamiento con mayor grosor fue el tratamiento seis, que posee 8.0% de proteína y 46.2% de glicerina. Este tratamiento es un punto axial (+ α) de la variable proteína, que expresa el mayor porcentaje de proteína del experimento. El tratamiento con menor grosor fue el tratamiento uno, que posee 4.59% de proteína y 35.28% de glicerina. Este tratamiento es un punto central de la variable proteína, que expresa un porcentaje bajo de proteína.

Cuadro 5. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en el grosor de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche	Glicerina	Grosor
	(%)	(%)	(mm)
1	4.59	35.28	0.23 ± 0.018 C
2	4.59	50.00	0.24 ± 0.013 BC
3	7.42	35.28	0.24 ± 0.009 BC
4	7.42	50.00	0.27 ± 0.015 AB
5	4.00	46.24	0.27 ± 0.017 AB
6	8.00	46.24	0.29 ± 0.040 A
7	6.00	30.74	0.22 ± 0.044 C
8	6.00	51.56	0.26 ± 0.025 AB
9	6.00	46.24	0.25 ± 0.020 BC
10	6.00	46.24	0.24 ± 0.023 BC
11	6.00	46.24	0.23 ± 0.026 C
12	6.00	46.24	0.24 ± 0.030 ABC
13	6.00	46.24	0.24 ± 0.014 BC
14	0.00	46.24	0.25 ± 0.041 BC
Coficiente de Variación (%)			10.61

A-I diferente letra representa diferencias significativas a $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.73 para el grosor de la película comestible lo cual nos demuestra que un 73% de los datos fueron predichos por el modelo y solo el 26% de los mismos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 6). Esto revela que el modelo propuesto tuvo significancia estadística y que los datos al ajustarse al modelo nos permiten tener un modelo predictivo, siendo éste capaz de identificar las respuestas dentro del conjunto de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

Cuadro 6. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado al grosor de una película comestible.

Coeficientes	Grosor
Intercepto	2.43E-01*
X_1	7.60E-03 ^{n.s}
X_1^2	1.53E-02*
X_2	1.50E-02*
X_2^2	-1.44E-03 ^{n.s}
$X_1 * X_2$	5.75E-03 ^{n.s}
Falta de Ajuste	9.39E-04 ^{n.s}
R^2	0.73

X_1 : Proteína de Suero de Leche (%)

X_2 : Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a $p < 0.1$

La expresión matemática que representa el grosor (mm) es un modelo cuadrático de segundo orden, entre el grosor de la película comestible y las variables independientes (Cuadro 7), se expresa de acuerdo a la ecuación 12.

$$\text{Grosor (mm)} = 0.24 + 0.015 X_1^2 + 0.014 X_2 \quad [12]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 7.91 de valor F calculado por lo que al compararse con 2.96 de valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 12) se construyó el gráfico de superficie respuesta para el grosor (Figura 5). Se encuentra el efecto cuadrático que tiene la proteína de suero de leche (PSL) y el efecto lineal que tiene la glicerina sobre el grosor de la película comestible. Resultado similar encontrado por Basiak *et al.* (2015), en películas comestibles a base de almidón de trigo y proteína de suero.

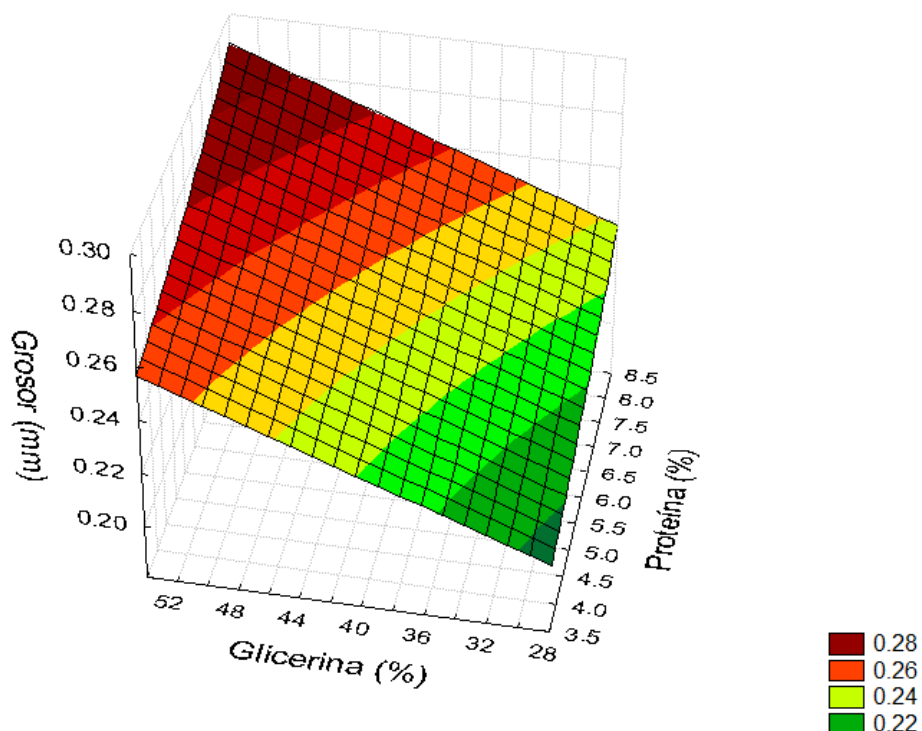


Figura 5. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre el grosor (mm) de una película comestible.

El modelo (ecuación 12) indica un incremento positivo de 0.015 en el nivel cuadrático y un incremento positivo de 0.014 mm en el nivel lineal de grosor por cada unidad agregada de PSL y glicerina respectivamente. Esto ocurre solo si se colocó la misma cantidad de solución filmogénica en las placas para formar las películas, aún con una diferente formulación. Los filmes con mayor porcentaje de PSL y glicerina, aportan mayor porcentaje de sólidos totales que al secar darán un mayor grosor (Basiak *et al.*, 2015). Sin embargo, un mayor porcentaje de glicerol repercute en la dificultad de manejo, haciendo que se rompan fácilmente, efecto también visto por Malit *et al.* (2004).

Márquez (2010), elaboró películas comestibles a base de proteína de suero de leche y almidones modificados por el método de casting. Obtuvieron grosores desde 0.039 mm hasta 0.062 mm sin especificar el aumento del grosor de cada muestra con el incremento de la PSL y glicerina. Basiak *et al.* (2015), elaboraron filmes de almidón de trigo y proteína de suero de leche y glicerina como plastificante. La variación fue de 0.087 mm a 0.11 mm, y el aumento de las concentraciones de proteína de suero de leche elevó la espesura de los filmes.

Permeabilidad al vapor de agua (PVA). Una de las principales funciones de los empaques en los alimentos es evitar o disminuir la transferencia de humedad entre él y su atmósfera circundante a través de la disminución de la permeabilidad de vapor de agua (Gontard *et al.*, 1993).

El cuadro 7 indica los diferentes niveles de PVA a partir del día seis. Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes, con un rango de 0.70 a 1.23 g.mm/h.m².kPa. El tratamiento con mayor permeabilidad fue el tratamiento cinco, con 4% de PSL y 46.24% de glicerina. Este tratamiento es un punto axial (- α) de la variable proteína, que expresa el menor porcentaje de proteína del experimento. Los tratamientos dos, cuatro, doce y catorce fueron estadísticamente iguales al tener la menor diferencia estadística, lo que significa menor permeabilidad.

Según Turhan *et al.* (2007), la adición de sólidos a la formulación de las películas comestibles disminuye la permeabilidad produciendo poros con diámetros más pequeños. La estructura de los polímeros afecta significativamente el transporte del vapor de agua (Chen, 1995).

Cuadro 7. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la permeabilidad al vapor de agua de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche	Glicerina	Permeabilidad al vapor de agua
	(%)	(%)	(g.mm/h.m ² .kPa)
1	4.59	35.28	0.99 ± 0.07 D
2	4.59	50.00	0.70 ± 0.02 G
3	7.42	35.28	1.21 ± 0.04 AB
4	7.42	50.00	0.79 ± 0.03 G
5	4.00	46.24	1.23 ± 0.11 A
6	8.00	46.24	1.10 ± 0.03 BC
7	6.00	30.74	1.13 ± 0.05 BC
8	6.00	51.56	0.78 ± 0.01 FG
9	6.00	46.24	1.08 ± 0.01 DE
10	6.00	46.24	0.87 ± 0.03 EF
11	6.00	46.24	0.94 ± 0.01 DE
12	6.00	46.24	0.72 ± 0.01 G
13	6.00	46.24	1.09 ± 0.06 C
14	0.00	46.24	0.71 ± 0.017 G
Coefficiente de Variación (%)			7.08

A-I diferente letra representa diferencias significativas $P \leq 0.05$

El R² encontrado fue de 0.60 para PVA de la película comestible lo cual nos demuestra que un 60% de los datos fueron predichos por el modelo y solo el 40% de los mismos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 8). Esto revela que el modelo propuesto tuvo significancia estadística y que los datos al ajustarse al modelo nos permiten tener un modelo predictivo, siendo éste capaz de identificar las respuesta dentro del conjunto de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

Cuadro 8. Coeficiente de regresión y probabilidades de un modelo de regresión lineal aplicado a la espesura de una película comestible.

Coefficientes	Permeabilidad al vapor de agua
Intercepto	9.24E-01*
X ₁	1.36E-02 ^{n.s}
X ₁ ²	8.87E-02 ^{n.s}
X ₂	-1.42E-01*
X ₂ ²	-1.85E-02 ^{n.s}
X ₁ *X ₂	-1.89E-02 ^{n.s}
Falta de Ajuste	9.11E-02^{n.s}
R²	0.60

X₁: Proteína de Suero de Leche (%)

X₂: Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a p< 0.1

La expresión matemática que representa PVA (g.mm/h.m².kPa) es un modelo lineal, entre PVA de la película comestible y la variable independiente (Cuadro 9), se expresa de acuerdo a la ecuación 13.

$$PVA (g.mm/h.m^2.kPa)=0.92-0.14X_2 \quad [13]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 8.20 de valor F calculado por lo que al compararse con 3.23 del valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 13) se construyó el gráfico de superficie respuesta para PVA (Figura 6). Se encuentra el efecto lineal negativo que tiene el glicerol sobre PVA de la película comestible. Resultado similar encontrado por Turhan *et al.* (2007), en películas comestibles a base de proteína de suero de leche y metilcelulosa.

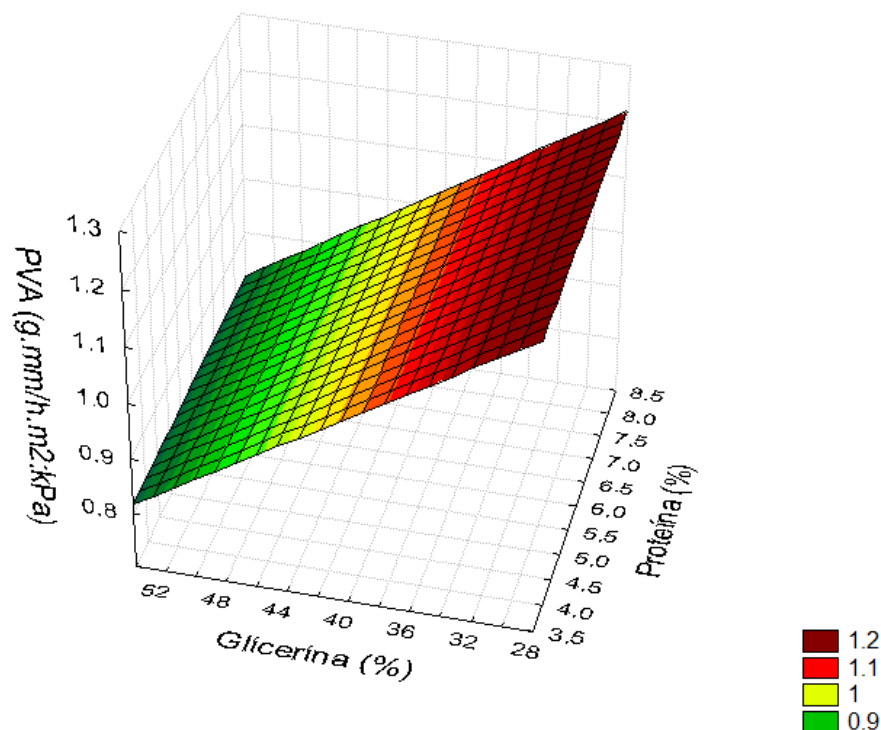


Figura 6. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la permeabilidad al vapor de agua ($\text{g.mm/h.m}^2.\text{kPa}$) de una película comestible.

El modelo (Ecuación 13) indica una disminución de $0.1422 \text{ g.mm/h.m}^2.\text{kPa}$ de PVA por cada unidad de glicerina agregada. Esto ocurre solo si se colocó la misma cantidad de solución filmogénica en las placas para formar las películas, aún con una diferente formulación.

Bertuzzi *et al.* (2002), encontró el efecto del aumento de PVA a medida que aumenta el contenido plastificante. La incorporación de plastificante modifica la organización molecular haciendo la estructura menos densa y como consecuencia más permeable. El incremento de la permeabilidad, está relacionado a la hidrofiliidad de la molécula del plastificante (Sothomvit y Krochta, 2000). El experimento no demostró la tendencia comprobada por otros estudios, a medida que la glicerina aumentaba la permeabilidad disminuía. Esto fue debido a que después del secado se observaron pequeños agujeros en las películas. La presencia de pequeños agujeros afecta gravemente las propiedades de barrera de humedad en las películas comestibles (Turhan *et al.*, 2007).

Solubilidad en agua. La solubilidad en agua es una propiedad importante de las películas comestibles. Aplicaciones potenciales pueden requerir insolubilidad en agua para mejorar la integridad y resistencia del producto. Sin embargo, en algunos casos la solubilidad en agua antes del consumo del producto podría ser de beneficio (Pérez-Gago, 1999).

Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos, con un rango de 40.19 hasta 58.01% (Cuadro 9). Los tratamientos con mayor solubilidad en agua fueron el cuatro (7.42% de proteína y 50.00% glicerina) y ocho (6% de proteína y 51.56% de glicerina). El tratamiento con menor solubilidad en agua fue el tratamiento siete, que posee 6.00% de proteína y 30.74% de glicerina (Cuadro 10). Este tratamiento es un punto axial ($-\alpha$) de la variable glicerina, que expresa el porcentaje más bajo de glicerina del experimento.

Cuadro 9. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la solubilidad en agua de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche	Glicerina	Solubilidad en agua
	(%)	(%)	(%)
1	4.59	35.28	43.11 ± 1.27 FG
2	4.59	50.00	44.55 ± 0.71 DEF
3	7.42	35.28	43.88 ± 1.62 FG
4	7.42	50.00	58.01 ± 7.58 A
5	4.00	46.24	47.70 ± 0.74 CDF
6	8.00	46.24	48.43 ± 1.60 BCD
7	6.00	30.74	40.19 ± 0.93 G
8	6.00	51.56	57.68 ± 1.21 A
9	6.00	46.24	48.25 ± 0.91 BCD
10	6.00	46.24	44.43 ± 1.76 DEF
11	6.00	46.24	49.28 ± 1.16 BC
12	6.00	46.24	51.43 ± 1.27 BC
13	6.00	46.24	47.36 ± 4.56 CDEF
14	0.00	46.24	52.49 ± 0.29 B
Coefficiente de Variación (%)			5.41

A-I diferente letra representa diferencias significativas $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.41, lo cual nos indica que solo el 41 % de la variación de los datos se ajustara al modelo, lo que se le atribuye a un 59 % al error experimental (Cuadro 10). Esto revela que el modelo propuesto no tuvo significancia estadística y que los datos al ajustarse al modelo resultan en un modelo tendencioso.

Cuadro 10. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión lineal aplicado en la solubilidad en agua para una película comestible.

Coefficientes	Solubilidad en Agua
Intercepto	4.91E+01*
X ₁	4.93E+00*
X ₁ ²	-1.89E+00 ^{n.s}
X ₂	1.44E+00 ^{n.s}
X ₂ ²	2.46E+00 ^{n.s}
X ₁ *X ₂	2.46E+00 ^{n.s}
Falta de Ajuste	3.99E+02*
R²	0.41352

X₁: Proteína de Suero de Leche (%)

X₂: Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a p< 0.1

La expresión matemática que representa la solubilidad en agua (%) es un modelo lineal los cuales son expresados por los coeficientes significativos, entre la solubilidad en agua y las variables independientes (Cuadro 11), se expresa de acuerdo a la ecuación 14.

$$\text{Solubilidad en Agua (\%)} = 46.81 + 3.90X_1 \quad [14]$$

Se realizó la prueba F con 5 % de significancia obteniendo 3.82 de valor F calculado por lo que al compararse con 3.23 de valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 14) se construyó un gráfico de superficie respuesta para la solubilidad en agua de las películas comestibles. (Figura 7). Se encuentra el efecto lineal que tiene PSL sobre la solubilidad en agua de las películas comestibles. Basiak *et al.* (2015) encontró un resultado similar a este en películas comestibles a base de almidón de trigo y proteína de suero. Al momento que se le agregaba más porcentaje de proteína a la solución filmogénica, la solubilidad en agua de la película comestible aumentaba.

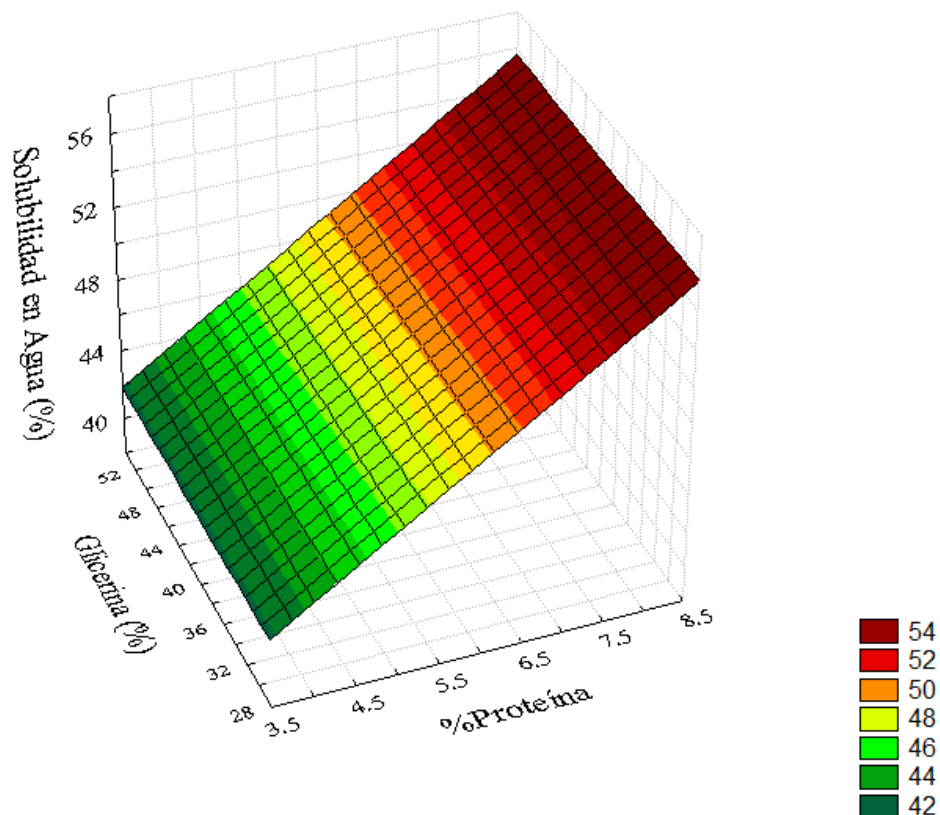


Figura 7. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la solubilidad (%) de una película comestible.

El modelo (Ecuación 14) indica un incremento de 3.90 % de solubilidad por cada unidad agregada de PSL. Esto se debe a que las películas a base de PSL son malas barreras contra la humedad, ya que la naturaleza de esta proteína es hidrofílica (McHugh y Krochta, 1994. Esto ocurre solo si se colocó la misma cantidad de solución filmogénica en las placas para formar las películas, aún con una diferente formulación.

Sothornvit y Krochta (2000), evaluaron la solubilidad en agua de películas comestibles a base de proteína de suero hidrolizada y encontraron que al aumentar la cantidad de proteína en la formulación de la película, la solubilidad aumentaba. Ustunol y Merto (2004) buscaron disminuir la solubilidad de una película a base de proteína de suero reforzada con reticulaciones. Las reticulaciones aumentaban la red tridimensional entre los aminoácidos de las proteínas obteniendo una menor solubilidad en las películas comestibles (Gennadios, 2002).

Fuerza de perforación. Por medio del análisis de perforación se determinó la fuerza necesaria (N) para que una sonda perforara perpendicularmente la película. La fuerza aplicada que fue en función al desplazamiento resultante a la deformación hasta el recorrido para llegar a un punto pico donde ocurrirá la fuerza de ruptura (Vicentini, 2003).

Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos con un rango de 0.64 hasta 3.23 de fuerza de perforación (Cuadro 11). Los tratamientos con mayor fuerza de perforación fueron el tres (7.42% de PSL y 35.28% de glicerina) y el siete (6.00% de PSL y 30.74% de glicerina). El tratamiento siete es un punto axial ($-\alpha$) de la variable glicerol. El tratamiento con menor fuerza de perforación fue el ocho, que posee 6.00% de PSL y 30.74% de glicerina. El tratamiento ocho es un punto axial ($+\alpha$) de la variable glicerina. Estos resultados concuerdan con Rocha (2009), que encontró que a menor cantidad de glicerina en las películas comestibles mayor fuerza de perforación. Esto se debe a que el aumento de plastificantes en las películas comestibles reduce la densidad de la proteína, aumenta la movilidad de las cadenas de los polipéptidos y hace las películas menos elásticas y más resistentes (Monterrey y Sobral, 1999).

Cuadro 11. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina sobre la fuerza de perforación de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche	Glicerina	Fuerza Perforación
	(%)	(%)	(N)
1	4.59	35.28	2.14 ± 0.28 C
2	4.59	50.00	1.95 ± 0.62 CD
3	7.42	35.28	3.65 ± 0.55 A
4	7.42	50.00	1.36 ± 0.33 E
5	4.00	46.24	2.93 ± 0.80 B
6	8.00	46.24	1.53 ± 0.29 DE
7	6.00	30.74	3.83 ± 0.64 A
8	6.00	51.56	0.64 ± 0.02 F
9	6.00	46.24	1.29 ± 0.27 E
10	6.00	46.24	1.62 ± 0.22 DE
11	6.00	46.24	1.37 ± 0.23 E
12	6.00	46.24	1.16 ± 0.07 E
13	6.00	46.24	1.37 ± 0.23 E
14	0.00	46.24	1.41 ± 0.21 E
Coefficiente de Variación (%)			21.58

A-I diferente letra representa diferencias significativas $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.85 para la fuerza de perforación de la película comestible lo cual nos demuestra que un 85% de los datos predichos por el modelo y solo el 15% de los mismos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 12). La falta de ajuste si fue significativa ($p < 0.1$) y esto revela que los datos no se ajustan bien al modelo. Por lo que el modelo matemático es de carácter tendencioso en el comportamiento de la fuerza de perforación.

Cuadro 12. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la fuerza de perforación de una película comestible.

Coeficientes	Fuerza de Perforación
Intercepto	1.37E+00*
X ₁	-1.33E-01*
X ₁ ²	4.41E-01*
X ₂	-8.74E-01*
X ₂ ²	4.44E-01*
X ₁ *X ₂	-5.25E-01*
Falta de Ajuste	1.58E+00*
R²	0.85

X₁: Proteína de Suero de Leche (%)

X₂: Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a p< 0.1

La expresión matemática que representa la fuerza de perforación (N) es un modelo cuadrático de segundo orden con productos cruzados los cuales son expresados por los coeficientes significativos, entre la fuerza de perforación de la película comestible y las variables independientes (Cuadro 13), se expresa de acuerdo a la ecuación 15.

$$\text{Fuerza de Perforación (N)} = 1.369520 - 0.133183X_1 + 0.440656X_1^2 - 0.873734X_2 - 0.444006X_2^2 - 0.524813X_1X_2 \quad [15]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 10.22 de valor F calculado por lo que al compararse con 2.88 del valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 15) se construyó el gráfico de superficie respuesta para la fuerza de perforación (Figura 8).

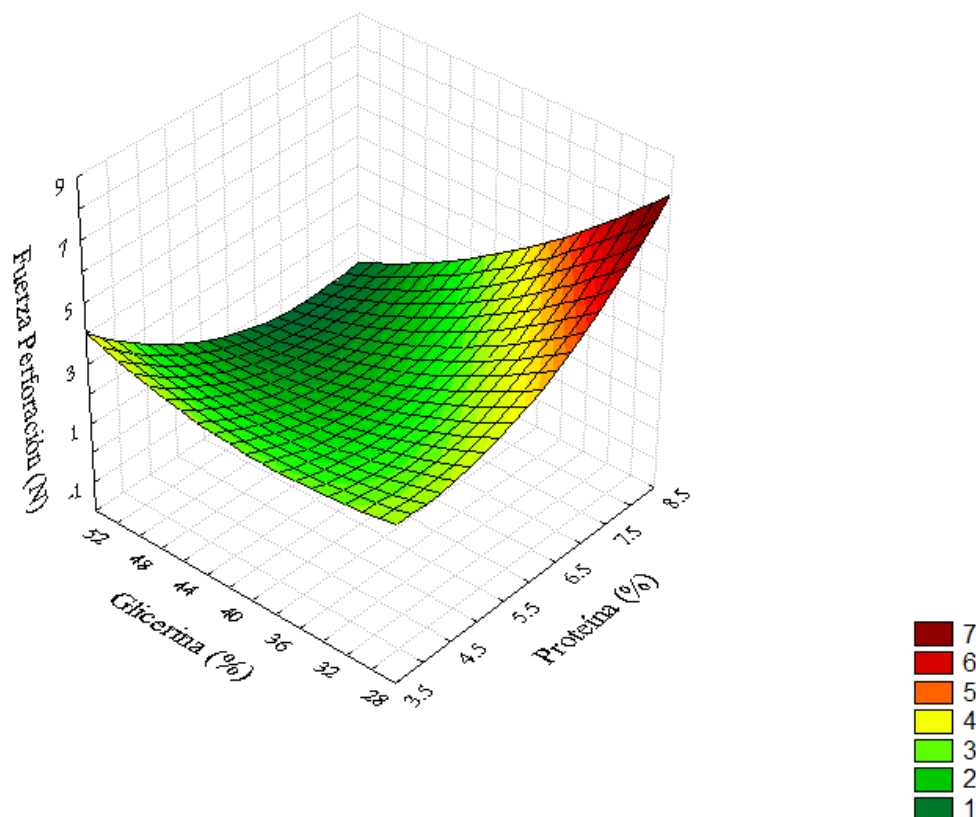


Figura 8. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la fuerza de perforación (N) de una película comestible.

Según la ecuación 15 la variable PSL muestra en el nivel lineal un efecto negativo y en el nivel cuadrático un efecto positivo sobre la adición de PSL sobre la matriz. La variable glicerina de los niveles lineal y cuadrático muestra un efecto negativo sobre la adición de glicerina sobre la matriz. La interacción entre la variable PSL y glicerina resultó tener un efecto negativo en el aumento de ambas variables.

Alves *et al.* (2007), incorporó glicerina de 20 y 45% con amilosa (15 %) en películas de almidón de yuca por el método de casting y obtuvo un comportamiento de 7.9 a 19.6 N con el aumento de la glicerina. Vicentini (2003), verificó que el incremento de la glicerina, sorbitol o dietilenoglicol de 10 a 25 % provocó una reducción lineal en la fuerza de perforación de 7.25 a 4.28, de 10.04 a 8.45 y de 7.02 a 4.16 N, respectivamente.

Deformación por perforación. La deformación es un parámetro que mide la capacidad de la película comestible a ceder hasta romperse (Alves, 2013). Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos, con un rango de 38.65 hasta 40.76 % de Deformación por perforación (DP) (Cuadro 13). Los tratamientos con mayor DP fueron el dos (4.59% de PSL y 50.00% de glicerina) y cinco (4.00% de PSL y 46.24% de glicerina). El tratamiento cinco es un punto axial ($-\alpha$) de la variable PSL, siendo el

porcentaje más bajo del experimento. El tratamiento con menor DP fue el uno, que posee 4.59% de PSL y 35.28% de glicerina.

Cuadro 13. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la deformación por perforación de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche	Glicerina	Deformación por perforación
	(%)	(%)	(%)
1	4.59	35.28	38.65 ± 0.30 E
2	4.59	50.00	40.62 ± 0.98 A
3	7.42	35.28	39.79 ± 0.67 BC
4	7.42	50.00	39.87 ± 0.66 B
5	4.00	46.24	40.76 ± 0.70 A
6	8.00	46.24	39.91 ± 0.63 B
7	6.00	30.74	39.72 ± 0.68 BCD
8	6.00	51.56	39.08 ± 0.01 CDE
9	6.00	46.24	38.90 ± 0.27 DE
10	6.00	46.24	39.76 ± 0.76 BCD
11	6.00	46.24	39.41 ± 0.45 BCDE
12	6.00	46.24	39.77 ± 0.43 BCD
13	6.00	46.24	39.43 ± 0.62 BCDE
14	0.00	46.24	39.50 ± 0.34 BCDE
Coefficiente de Variación (%)			1.55

A-I diferente letra representa diferencias significativas $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.54 para el DP de la película comestible lo cual nos demuestra que un 54% de los datos fueron predichos por el modelo y solo el 46 % de los mismos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 14). Esto revela que el modelo propuesto no tuvo significancia estadística y que los datos al ajustarse al modelo nos permiten tener un modelo tendencioso.

Cuadro 14. Coeficiente de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la deformación por perforación de una película comestible.

Coefficiente	Deformación por perforación
Intercepto	3.94E+01*
X ₁	-8.23E-02 ^{n.s}
X ₁ ²	3.95E-01*
X ₂	1.14E-01 ^{n.s}
X ₂ ²	-7.91E-02 ^{n.s}
X ₁ *X ₂	-3.80E-01*
Falta de Ajuste	1.19E+00 ^{n.s}
R²	0.53666

X₁: Proteína de Suero de Leche (%)

X₂: Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a p< 0.1

La expresión matemática que representa la deformación por perforación (%) es un modelo cuadrático de segundo orden con productos cruzados los cuales son expresados por los coeficientes significativos, entre la deformación por perforación de la película comestible y las variables independientes (Cuadro 15), se expresa de acuerdo a la ecuación 16.

$$\text{Deformación por Perforación (\%)} = 39.42712 + 0.39545X_1^2 - 0.38035X_1X_2 \quad [16]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 4.25 de valor F calculado por lo que al compararse con 2.92 del valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta. Dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 16) se construyó el gráfico de superficie respuesta para la DP (Figura 9).

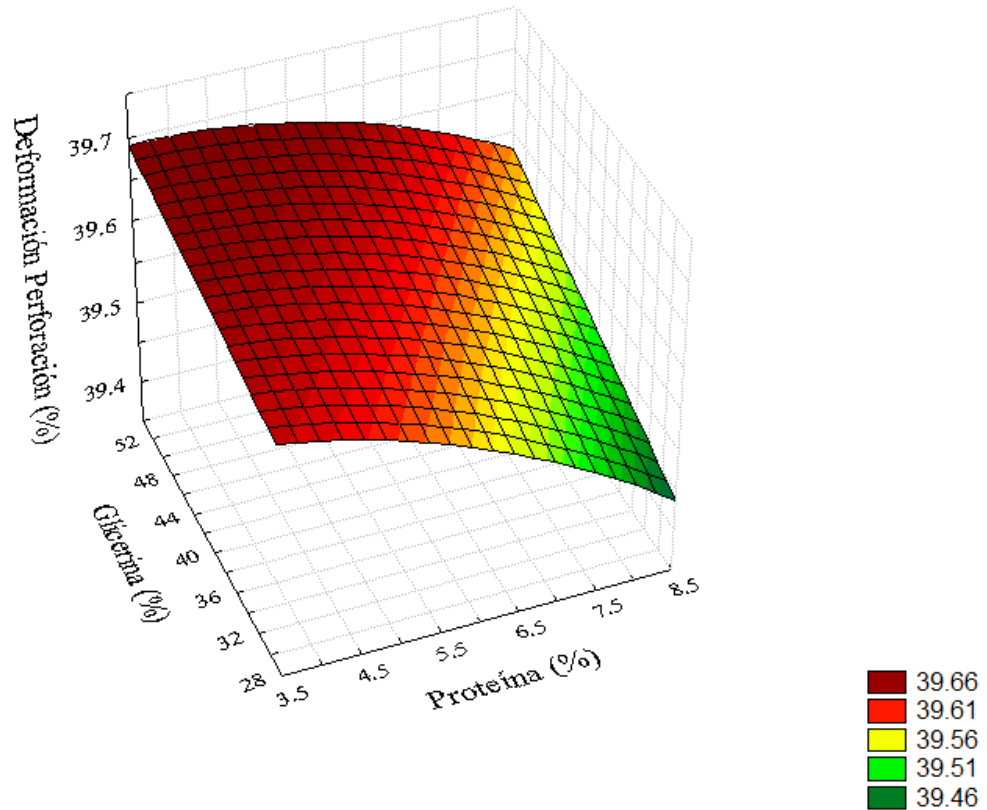


Figura 9. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina en la deformación por perforación (%) de una película comestible.

El modelo (Ecuación 16) indica un incremento de 0.40% de DP por cada unidad de PSL agregada a la matriz en el nivel cuadrático. La interacción entre la variable PSL y glicerina resultó tener una disminución de 0.38% de DP en el aumento de ambas variables. Rocha (2009), encontró también el efecto negativo entre la interacción de la glicerina con cada una de las variables de pH y proteína de soya.

Otros autores han encontrado que la adición a la matriz de la molécula de glicerol favorecerá a una mayor deformación. Aguilar-Mendez *et al.* (2008), tuvieron más significativo el aumento de glicerol en películas de almidón (90%) y gelatina (10%) donde obtuvieron una interacción lineal con la deformación. Brandao y Peña (2012) encontraron que el plastificante influye en la deformación de las películas comestibles al aumentar la concentración de sorbitol de 90 al 95%.

Tensión. La tensión es la máxima cantidad de fuerza aplicada a una película por unidad de área de sección transversal original de la película (Perez-Gago y Krochta, 1999). Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos con un rango de 0.31 hasta 1.99 tensión (Cuadro 15). El tratamiento con mayor tensión fue el siete, que posee 6.00% de PSL y 30.74% de glicerina. Este tratamiento es un punto axial (- α) de la variable glicerina, que expresa el menor porcentaje del experimento. El

tratamiento con menor tensión fue el tratamiento ocho, que posee 6.00% de PSL y 51.56% de glicerina. Este tratamiento es un punto axial ($+\alpha$) de la variable glicerina, que expresa el mayor porcentaje del experimento.

Cuadro 15. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en la tensión de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche	Glicerina	Tensión
	(%)	(%)	(MPa)
1	4.59	35.28	1.20 ± 0.24 B
2	4.59	50.00	0.53 ± 0.03 GH
3	7.42	35.28	0.95 ± 0.25 CD
4	7.42	50.00	0.67 ± 0.19 EFG
5	4.00	46.24	1.05 ± 0.15 BC
6	8.00	46.24	0.74 ± 0.10 EF
7	6.00	30.74	1.99 ± 0.25 A
8	6.00	51.56	0.31 ± 0.01 H
9	6.00	46.24	0.66 ± 0.25 EFG
10	6.00	46.24	0.52 ± 0.13 GH
11	6.00	46.24	0.75 ± 0.16 EF
12	6.00	46.24	0.56 ± 0.08 FG
13	6.00	46.24	0.77 ± 0.11 DE
14	0.00	46.24	0.80 ± 0.11 DE
Coefficiente de Variación (%)			18.71

A-I diferente letra representa diferencias significativas $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.86 para la tensión de la película comestible lo cual nos demuestra que un 86% de los datos fueron predichos por el modelo y solo el 14% de los mismos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 16). La falta de ajuste si fue significativa ($p < 0.05$) y esto revela que los datos no se ajustan bien al modelo. Por lo que el modelo matemático es de carácter tendencioso en el comportamiento de la tensión.

Cuadro 16. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático aplicado en la tensión de una película comestible.

Coeficientes	Tensión
Intercepto	6.51E-01*
X ₁	-7.05E-02 ^{n.s}
X ₁ ²	7.92E-02 ^{n.s}
X ₂	-4.27E-01*
X ₂ ²	1.81E-01*
X ₁ *X ₂	9.52E-02 ^{n.s}
Falta de Ajuste	3.30E-01*
R²	0.86

X₁: Proteína de Suero de Leche (%)

X₂: Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a p< 0.1

La expresión matemática que representa la tensión (MPa) es un modelo cuadrático expresado por los coeficientes significativos, entre la tensión de le película comestible y las variables independientes (Cuadro 17), se expresa de acuerdo a la ecuación 17.

$$\text{Tensión (MPa)} = 0.651028 - 0.43X_2 + 0.18X_2^2 \quad [17]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 7.91 de valor F calculado por lo que al compararse con 2.96 del valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 17) se construyó el gráfico de superficie respuesta para la tensión (Figura 10). El modelo (Ecuación 17) indica un efecto negativo de 0.43 al aumentar una unidad de glicerina en el nivel lineal y al aumentar una unidad de glicerina en el nivel cuadrático hay un efecto positivo de 0.18. Esto ocurre solo si se colocó la misma cantidad de solución filmogénica en las placas para formal las películas, aun con una diferente formulación.

Cuando grandes cantidades de plastificantes son introducidos a la formulación, los cambios en las propiedades de las películas son significantes en la reducción de la elasticidad y la resistencia mecánica. Cuando un plastificantes es incorporado a una matriz de polímeros, ocurre una competencia entre los enlaces de hidrogeno y la interacción de polímeros y plastificantes. Como resultado, la interacción directa entre las cadenas de polímeros se reduce por la formación de enlaces de hidrógenos con el plastificante agregado. La concentración del plastificante incrementa significativamente la formación de enlaces de hidrogeno (Turhan *et al.*, 2007).

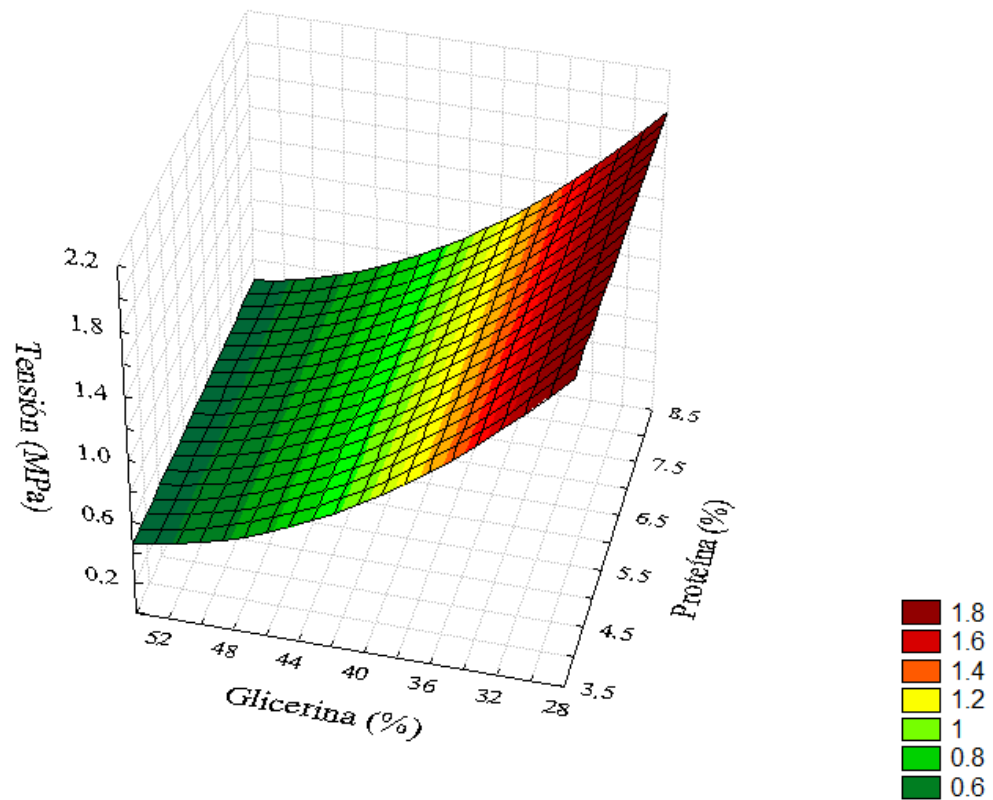


Figura 10. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre la tensión por elongación de una película comestible.

Fang *et al.* (2002), confirmó a través de un estudio de medición de las propiedades mecánicas y de barrera de un recubrimiento hecho a base de proteína de suero que al agregar un 20% más de glicerina a la formulación del recubrimiento, la fuerza de tensión disminuía significativamente. Perez-Gago y Krochta (1999), encontró diferencias significativas en la tensión de las películas comestibles de proteína de suero desnaturalizada al incorporarle glicerina a la matriz. Moreno (2013), elaboró películas comestibles a base de suero de mantequilla y almidón de maíz y encontró que al incrementar la cantidad de suero en los tratamientos tenían propiedades de tensión bajas debido a la lactosa que se encuentra en el suero que actúa como plastificante. Turhan *et al.* (2007), trabajó en la optimización de la glicerina en el efecto de las propiedades mecánicas y de permeabilidad al vapor del agua en películas hechas a base de proteína de suero y metilcelulosa y encontró que al incrementar la glicerina en la formulación las propiedades de tensión disminuían.

Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad es la razón entre la tensión y la deformación dentro del límite elástico, en el que la deformación es totalmente proporcional a la tensión. El módulo de elasticidad expresa que tan rígido es el material (Mano y Mendes, 1999).

Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos, con un rango de .01 hasta 0.07 MPa de módulo de elasticidad (Cuadro 17). Los tratamientos con mayor ME fueron el uno (4.59% de PSL y 35.28% de glicerina) y siete (6.00% de PSL y 30.74% de glicerina). El tratamiento siete es un punto axial ($-\alpha$) de la variable glicerina que expresa el menor porcentaje de glicerina del experimento. El tratamiento con menor ME fue el ocho, que posee 6.00% de proteína y 51.56% de glicerina. Este tratamiento es un punto axial ($+\alpha$) de la variable glicerol, que expresa el porcentaje más alto de proteína del experimento.

Cuadro 17. Efecto de la combinación de proteína de suero de leche y glicerina en el módulo de elasticidad de los tratamientos.

Tratamientos			
	Proteína de Suero de Leche (%)	Glicerina (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	4.59	35.28	0.07 ± 0.020 A
2	4.59	50.00	0.02 ± 0.004 DE
3	7.42	35.28	0.06 ± 0.022 B
4	7.42	50.00	0.03 ± 0.006 CD
5	4.00	46.24	0.04 ± 0.001 C
6	8.00	46.24	0.03 ± 0.005 CD
7	6.00	30.74	0.07 ± 0.010 A
8	6.00	51.56	0.01 ± 0.003 E
9	6.00	46.24	0.03 ± 0.005 CD
10	6.00	46.24	0.03 ± 0.002 CD
11	6.00	46.24	0.04 ± 0.004 C
12	6.00	46.24	0.02 ± 0.004 DE
13	6.00	46.24	0.03 ± 0.004 C
14	0.00	46.24	0.03 ± 0.005 CD
Coefficiente de Variación (%)			24.95

A-I diferente letra representa diferencias significativas $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.95 para el ME de la película comestible lo cual nos demuestra que un 95% de los datos fueron predichos por el modelo y solo el 5% de los mismos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 18). Esto revela que el modelo propuesto tuvo significancia estadística y que los datos al ajustarse al modelo nos permiten tener un modelo predictivo, siendo este capaz de identificar las respuestas dentro del conjunto de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

Cuadro 18. Coeficientes de regresión y probabilidades de un modelo de regresión cuadrático en el módulo de elasticidad de una película comestible.

Coeficientes	Módulo de elasticidad
Intercepto	3.06E-02*
X ₁	-2.26E-03 ^{n.s}
X ₁ ²	3.16E-03 ^{n.s}
X ₂	-1.95E-02*
X ₂ ²	6.36E-03*
X ₁ *X ₂	4.84E-03 ^{n.s}
Falta de Ajuste	3.30E-01^{n.s}
R²	0.95

X₁: Proteína de Suero de Leche (%)

X₂: Glicerina (%)

n.s = Significantes y *=Significantes a p< 0.1

La expresión matemática que representa el ME (MPa) es un modelo cuadrático expresado por los coeficientes significativos, entre el ME de la película comestible y las variables independientes (Cuadro 19), se expresa de acuerdo a la ecuación 18.

$$\text{Módulo de Elasticidad (MPa)} = 0.03068 - 0.020X_2 + 0.0064X_2^2 \quad [18]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 17.71 de valor F calculado por lo que al compararse con 2.92 del valor F de la tabla (Anexo 1) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla. En base al modelo matemático (Ecuación 18) se construyó el gráfico de superficie respuesta para el ME (Figura 11). El modelo (Ecuación 17) indica un efecto negativo de 0.020 al aumentar una unidad de glicerina en el nivel lineal. Al aumentar una unidad de glicerina en el nivel cuadrático hay un efecto positivo de 0.0064. Esto ocurre solo si se colocó la misma cantidad de solución filmogénica en las placas para formar las películas, aun con una diferente formulación.

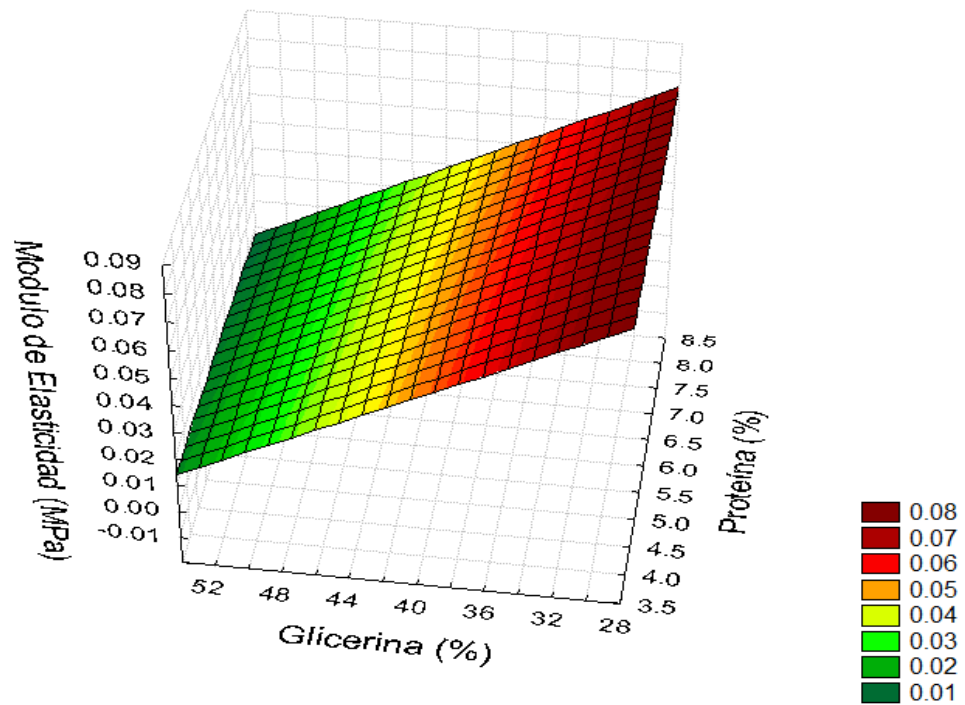


Figura 11. Efecto del porcentaje de proteína de suero de leche y porcentaje de glicerina sobre el módulo de elasticidad de una película comestible.

Galus y Kdzinska (2015), reforzaron películas comestibles a base de proteína de suero de leche con aceite de almendras y nuez y encontraron que al aumentar la concentración de aceite el módulo de elasticidad disminuía. Esto se debe al efecto plastificante que tienen los aceites en la matriz de la proteína. Moreno (2013), elaboró películas comestibles a base de suero de mantequilla y almidón de maíz y encontró que al incrementar la cantidad de suero en los tratamientos el módulo de elasticidad disminuía debido a la lactosa que se encuentra en el suero que actúa como plastificante. Javanmard (2008), indicó que con el aumento de la glicerina en la matriz de películas comestibles a base de suero para recubrir maní seco disminuye el módulo de elasticidad.

Función de utilidad. En la figura 12 se muestran los valores óptimos de las variables independientes sobre las diferentes respuestas de carácter predictivo, bajo las restricciones de un bajo grosor, permeabilidad al vapor de agua y un alto módulo de elasticidad.

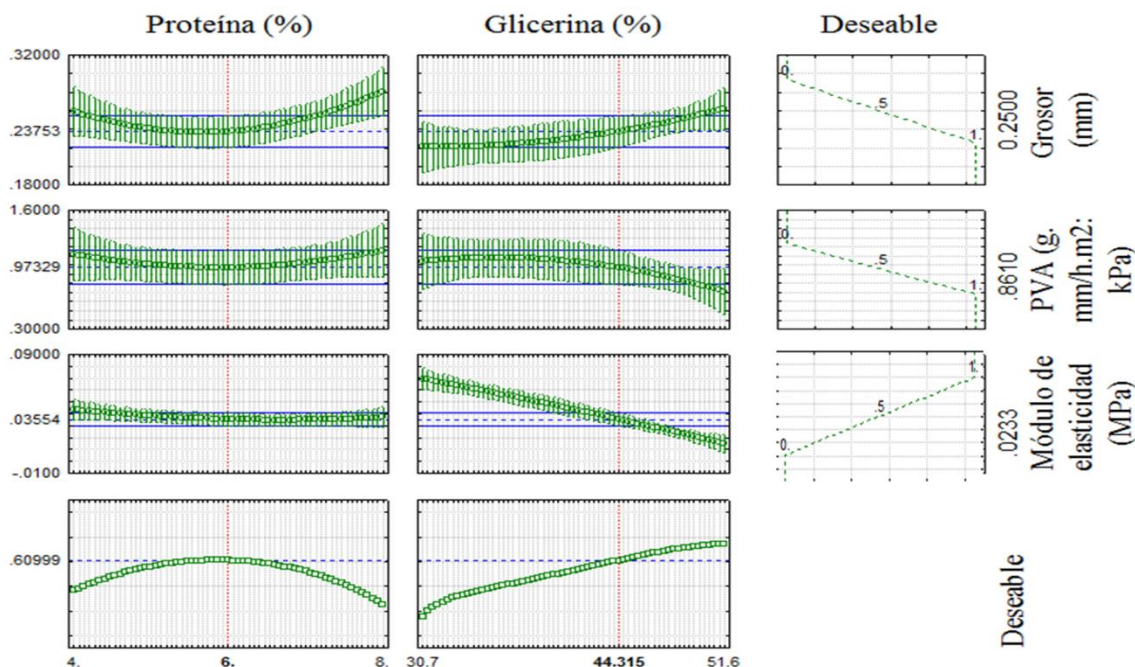


Figura 12. Valores óptimos de las variables independientes sobre las propiedades físicas y de barrera de una película comestible.

Elaboración del queso Zamorella con almendras recubiertas.

Análisis microbiológico de coliformes. El conteo de coliformes totales de los tratamientos demostró que todos cumplieron con el parámetro de calidad microbiológica establecido por el Reglamento Técnico Centroamericano para quesos frescos, no madurados y requesón. El reglamento establece como límite para quesos madurados y procesados <10 UFC/g. Los conteos finales de todos los tratamientos para los días uno y catorce se encontraron dentro del límite.

Análisis sensorial de preferencia. Se evaluaron tres muestras de queso con almendras con dos formulaciones de películas comestibles (6.00% de PSL y 44.3% de glicerina y 4.60 % PSL y 50.00% de glicerina) al día quince. Los panelistas tuvieron preferencias entre las tres muestras analizadas. Estos resultados fueron congruentes y favorables para el estudio ya que los panelistas no entrenados tuvieron preferencias entre las muestras.

Los panelistas tuvieron preferencia entre las tres muestras analizadas. Con un grado de libertad ($n-1$) de 2, siendo n el número de muestras de queso y con una probabilidad del 5% se obtuvo un Chi calculado de 19.63 que al compararlo con el Chi tabular de 5.99 (Anexo 4) fue estadísticamente significativo. La muestra preferida por los panelistas fue el queso que contenía la formulación de la película comestible de 6.00% de PSL y 44.3% de glicerina. Cabe recalcar que la formulación de la película comestible es la cantidad óptima de la primera fase del estudio. Este análisis sirvió para poder determinar los tratamientos que se iban a utilizar para hacer los análisis fisicoquímicos del estudio.

Valor de luminosidad (L*). El cuadro 19 indica que las diferencias encontradas en luminosidad entre los tratamientos fueron significativas ($P < 0.05$). El revestimiento en la almendra influyó en la claridad de la almendra. El tratamiento dos (almendra con revestimiento) presentó mayor luminosidad en el día uno, esto debido a que el recubrimiento es blanco y aumentó la luminosidad de la almendra (Basiak *et al.*, 2015). En el día quince el tratamiento uno (almendra sin revestimiento) presentó mayor luminosidad, esto debido a que la almendra absorbió humedad dentro del queso (McHugh y Krochta, 1994). Cabe recalcar que estadísticamente sí hubieron diferencias, pero matemáticamente son valores muy similares.

El cuadro 19 muestra que sí hubieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en valor L* a través del tiempo. Esto se debe a la alta solubilidad en agua que tienen las películas comestibles a base PSL, ya que las proteínas son hidrófilas por naturaleza (Bourtoom, 2008). Las almendras dentro del queso absorbieron humedad aumentando la luminosidad.

Cuadro 19. Análisis físico de color: valor de luminosidad (L*).

Tratamiento	Día 1	Día 15
1 Almendra sin revestimiento	33.59 ± 0.15 B y	42.71 ± 0.07 A x
2 Almendra con revestimiento	38.68 ± 0.04 A y	41.28 ± 0.19 B x
Coefficiente de Variación (%)	0.30	0.35

A-E 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 ($P < 0.05$).

Valor a*. El cuadro 20 indica que si hubieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos en el día quince. El revestimiento si tuvo efecto en el valor a* de la almendra.

Cuadro 20. Análisis físico de color: valor a*.

Tratamiento	Día 1	Día 15
1 Almendra sin revestimiento	15.87 ± 0.21 A y	17.23 ± 0.10 A x
2 Almendra con revestimiento	15.90 ± 0.07 A x	16.20 ± 0.28 B x
Coefficiente de Variación (%)	0.98	1.26

A-E 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)

El cuadro 20 muestra que sí hubieron diferencias significativas (p<0.05) a través del tiempo en el tratamiento uno (almendra sin revestimiento). Gounga *et al.* (2008), trabajaron en recubrimientos de PSL y polulano para nueces y reporto que el valor a* incrementa en las nueces sin recubrimientos a través del tiempo y en las nueces con recubrimiento se mantiene debido a que los recubrimientos tienen la capacidad de retrasar el cambio de color.

Valor b*. El cuadro 21 indica que sí hubo diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos. El revestimiento si tuvo efecto sobre el valor b* de la almendra. El tratamiento dos (almendra con revestimiento) presento el mayor valor b* para el día uno y quince.

Cuadro 21. Análisis físico de color: valor b*.

Tratamiento	Día 1	Día 15
1 Almendra sin revestimiento	17.43 ± 0.29 B y	24.73 ± 0.13 B x
2 Almendra con revestimiento	22.99 ± 0.14 A y	28.57 ± 0.28 A x
Coefficiente de Variación (%)	1.12	0.80

A-E 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).

El cuadro 21 indica que sí hubo diferencias significativas (P<0.05) a través del tiempo. El tratamiento uno (almendra sin revestimiento) presentó un valor menor al tratamiento dos (almendra con recubrimiento). Esto es confirmado por Gounga *et al.* (2008), a través del tiempo las nueces sin recubrimiento presentaron un valor b* menor al de las nueces recubiertas. Esto se debe a que el recubrimiento hace que se preserve el color en las

nueces. Han *et al.* (2004), reportaron un atraso en el cambio de color en fresas recubiertas con películas comestibles a base de quitosano.

Dureza. El cuadro 22 indica que sí hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En el día quince se encontró diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento dos (almendra con recubrimiento) tuvo la mayor media en el día quince, indicando que el recubrimiento sí tuvo efecto sobre la dureza de las almendras, ya que hay un 20% más de dureza para el tratamiento dos. El mozzarella es un queso que contiene 40% de humedad (FAO, 2001). Las almendras estuvieron expuestas a una humedad alta. El recubrimiento a base de PSL retuvo la humedad en su matriz (Gounga *et al.*, 2008) y lograron mantener una dureza mayor en comparación con la almendra sin recubrimiento. La humedad afecta la textura de los alimentos y cambia su composición (Gutiérrez, 2000). Este efecto se logró ver en el día quince por las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos (Cuadro 22).

Cuadro 22. Análisis de textura: Dureza (N).

Tratamiento	Día 1	Día 15
1 Almendra sin recubrimiento	31.04 ± 1.93 A x	14.06 ± 2.37 B y
2 Almendra con recubrimiento	33.71 ± 1.33 A x	22.05 ± 1.56 A y
Coefficiente de Variación (%)	6.20	10.97

A-E 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 ($P < 0.05$).

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas a través del tiempo (Cuadro 22). Para ambos tratamientos (almendras sin y con recubrimiento) hubo efecto en la dureza del día uno al día quince. En base a los resultados se puede inferir que a través del tiempo la dureza disminuye en ambos tratamientos. Sin embargo, el tratamiento dos (almendra con recubrimiento) tuvo el valor más alto de dureza. Gounga *et al.* (2008) indica que a pesar de que las nueces estén recubiertas, siempre habrá una ganancia de humedad en el alimento. Las almendras al ganar humedad disminuyeron su textura (Gutiérrez, 2000), pero el recubrimiento hizo que absorbieran menor humedad y por ende la textura es mejor que la de las almendras sin recubrimiento. Es importante conocer el contenido de humedad de las almendras porque es clave en las propiedades de textura (Vickers *et al.*, 2014)

Humedad. Estadísticamente se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos en el día quince (Cuadro 23). El tratamiento dos (almendra con revestimiento) indica una menor humedad en comparación con el tratamiento uno

(almendra sin revestimiento). Esto indica que el recubrimiento sí tuvo efecto en la humedad de la almendra.

Cuadro 23. Análisis químico: Humedad (%).

Tratamiento	Día 1	Día 15
1 Almendra sin recubrimiento	17.18 ± 1.03 A y	31.57 ± 1.40 A x
2 Almendra con recubrimiento	17.54 ± 1.25 A y	20.93 ± 0.19 B x
Coefficiente de Variación (%)	6.6	4.13

A-E 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).

El cuadro 23 indica que se encontraron diferencias significativas (P<0.05) a través del tiempo. Ambos tratamientos (almendra sin y con recubrimiento) aumentaron la humedad al día quince. Las películas comestibles a base de PSL son bajas barreras de humedad (Jooyandeh, 2011), es por eso que hubo una ganancia de humedad para el tratamiento dos (almendra con recubrimiento). Cabe recalcar que la humedad del tratamiento uno (almendra sin recubrimiento) es mayor a la del tratamiento dos. El tratamiento uno tuvo un incremento de humedad de 14.39 % al llegar al día quince y el tratamiento dos incremento de humedad de 3.39%. Gounga *et al.* (2008), reportaron resultados similares en nueces. Las nueces sin recubrimiento ganaron humedad al día quince al igual que las nueces con recubrimiento, pero en menor proporción respectivamente. El recubrimiento siempre retuvo cierta cantidad de humedad pero no por completo. Javanmard (2008), encontró que el maní sin recubrimiento ganaba más humedad a las cuatro semanas que el maní con recubrimiento a base de proteína de suero.

Índice de rancidez oxidativa (OSI). Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos. Cabe recalcar que aritméticamente sí se encuentra diferencia en el día quince entre las medias de los tratamientos (Cuadro 24).

Cuadro 24. Análisis químico: OSI (h).

Tratamiento	Día 1	Día 15
1 Almendra sin recubrimiento	8.95 ± 0.04 A x	8.04 ± 0.55 A y
2 Almendra con recubrimiento	8.96 ± 0.02 A x	8.48 ± 0.16 A x
Coefficiente de Variación (%)	0.32	4.96

A-E 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).

Estadísticamente sí se encontraron diferencias significativas (P<0.05) a través del tiempo para el tratamiento uno (almendra sin revestimiento). Esto indica que el recubrimiento sí tuvo un efecto en la oxidación de las almendras. Las películas comestibles a base de PSL son buenas barreras contra la oxidación (Jooyandeh, 2011). Javanmard (2008), encontró resultados similares en maní con recubrimiento a base de proteína de suero. El maní sin recubrimiento tuvo mayor oxidación a las cuatro semanas. Tien *et al.* (2001), trabajaron con recubrimientos a base de proteína de leche para manzanas y papas. El estudio indicó que la mayor capacidad antioxidante la tuvieron las películas comestibles a base de proteína de leche con un 75.13%. Las papas y las manzanas recubiertas presentaron menor empardeamiento y oxidación en comparación con las que no tenían recubrimiento.

Análisis de costos. El cuadro 25 muestra el análisis de costos variables para el tratamiento de queso Zamorella con 2% de almendras recubiertas con 6.00% de PSL y 44.32% glicerina, que fue el preferido por los panelistas.

Cuadro 25. Análisis de costos variables para el queso Zamorella con almendras.

Insumo	Unidad	Cantidad Utilizada	Costo unitario (\$/unidad)	Subtotal (\$)
Proteína de suero de leche	kg	0.003	4.52	0.01
Glicerina	L	0.023	6.93	0.16
Almidón de maíz	kg	0.024	1.00	0.02
Almidón de yuca	kg	0.024	1.00	0.02
Almendra	kg	0.009	7.50	0.07
Queso Zamorella	kg	0.454	4.27	1.94
Queso Zamorella con 2% de almendras recubiertas			Total (\$/lb)	2.23

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que la combinación 6.00% de proteína de suero de leche y 44.32% de glicerina (p/v) optimizaran todas las variables físicas y de barrera del recubrimiento comestible para almendras.
- El recubrimiento influyó en las características fisicoquímicas de las almendras en las variables de color, dureza, humedad e índice de rancidez oxidativa.
- El costo variable de materias primas por libra para el queso Zamorella con las almendras revestidas es de \$2.23.

5. RECOMENDACIONES

- Incorporar a la matriz de la película comestible una fuente de lípidos para la mejora de las propiedades físicas y de barrera.
- Realizar un estudio de mercado para determinar el precio que el consumidor estaría dispuesto a pagar por el producto.
- Utilizar la metodología de superficie respuesta para la optimización de procesos y futuros proyectos de investigación similares

6. LITERATURA CITADA

Acevedo Pons, I.C., García, O. 2012. Elaboración y evaluación de ciruela (*Spondia purupurea L.*) en almíbar como rellenos en queso tipo Mozzarella. Tesis Ing. Agroindustrial. Lara, Venezuela, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. 2 p.

Aguilar-Méndez, M.A., E.S. Martín-Martínez., S.A. Tomás., A. Cruz-Orea and M.R., Jaime-Fonseca. 2008. Gelatine–starch films: physicochemical properties and their application in extending the post-harvest shelf life of avocado (*Persea Americana*). Journal of The Science Of Food And Agriculture. V. 88. 185–193 p.

Albizú, H.C., Ac, M.A. 2011. Desarrollo de una recubrimiento comestible a base de proteína de suero de leche para queso Cheddar. Tesis Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana.

Alves, T. 2013. Caracterização físico-química de bioplásticos elaborados por extrusão e termoprensagem reforçados com casca de maracujá (*Passiflora edulis Sp.*). dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em ciência de alimentos. Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro Instituto De Tecnologia. Rio De Janeiro, Brazil.

Alves, V, S. Mali, A. Beleia and M. Grossmann. 2007. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. Journal Of Food Engineering, V. 78, N. 8, 941–946 p.

Banker, G. 1996. Water vapor transmission properties of free polymer. Journal of Pharmacy and Pharmacology 18: 457-466.

Basiak, E., S. Galus y A. Lenart. 2015. Characterisation of composite edible films based on wheat starch and whey-protein isolate. International Journal of Food Science and Technology 372-380.

Berryman, C.E, West, S.G., Fleming, J.A., Bordi, P.L., Kris-Etherton, P.M. 2015. Effects of Daily Almond Consumption on Cardio metabolic Risk and Abdominal Adiposity in Healthy Adults with Elevated LDL-Cholesterol: A randomized controlled trial. Journal of the American Heart Association. 9 p.

Bertuzzi, M.A., M, Armanda., J.C. Gottifredi., A.R. Aparicio y P. Jimenez. 2002. Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos. Tesis M.Sc. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de Catamarca. 10 p.

Bourtoom, T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. International Food Research Journal 15(3): 237-248.

Box, G.E.P. y N.R. Draper 1959. A basis for the Selection of a Response Surface Design Journal of the American Statistical Association. 54: 622-654.

Brandao, J.L y A.G. Peña. 2012. Efecto de dos temperaturas y tres combinaciones de plastificantes en las propiedades físicas de una película comestible a base de proteína de suero ácido. Tesis Ing. Agroindustrial. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 23 p.

Brookfield. 2005. Texture analysis applications: almonds (en línea). Consultado 14 de septiembre de 2015. Disponible en <http://www.brookfieldengineering.com/education/applications/texture-almonds.asp>.

Bylund, G. 1995. Dairy Processing Handbook. Lund, Sweden, Tetra Pak Processing Systems AB. 320 p.

CAO, N., Y. FU and J. HE. 2007. Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. Food Hydrocolloids v. 21. 1153-1162 p.

Cenzano, I. 1992 Los Quesos. Madrid, España. Editorial Mundi Prensas Libros. 136 p.

Chae, S; Heo, T. 1997. Production and properties of Edible Films Using Whey Protein. Departmente of Biological Engineering. Inha University, Inchon, Kore. 122-125 p.

Chen, H. 1995. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. J Dairy Sci 78: 2563-2583.

Cordón, J.A. 2007. Determinación acelerada de la vida anaquel de la rosquilla hondureña. Tesis. Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 10 p

Cuq, B., N. Gontard y S. Guilbert. 1995. Edible films and coatings as active layers. Active food packaging. Blackie Academica and Professional, Glasgow, UK. 111-142 p.

Fang, Y., M.A. Tung., I.J. Britt., S. Yada y D.G. Dalgleish. 2002. Tensile and barrier properties of edible films made from whey proteins. Journal of Food Science 67(1): 188-193.

FAO. 2001. Informe de la sexta reunión del comité del codex sobre la leche y los producto lácteos.

FAO. 2009. Almond. Consultado 13 de junio del 2015. Disponible en <http://www.fao.org/WAICENT/faoinfo/economic/faodef/FAODEFS/H57F.HTM>

FAO. 2013. Milk and dairy products in human nutrition. 207-255 p.

- Galiotta, G. 2001. Formación y caracterización de películas comestibles en base a suero de leche. Tesis de maestría en química. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Montevideo, Uruguay. 135 p.
- Galus, S. y J. Kadzinska. 2015. Whey protein edible films modified with almonds and walnut oils. *Food Hydrocolloids* 52: 78-86.
- Gennadios, A. 2002. Protein based films and coatings. Boca Raton, Florida. CRC Press. 650 p.
- Gontard, N. 1991. Films et enrobages comestibles: étude amelioration des propriétés filmogènes du gluten, Tese (Doctorat Biochimie Biologie, Cellulaire Etmoleculaire/Sciecens Dês Aliments), Université Des Sciecens Et Techniques Du Languedoc, Montpellier. 174p.
- Gontard, N., S. Guilbert and J. Cuq. 1992. Edible wheat gluten films: influence of the main processes variables on films properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 57(1): 190-195 p.
- Gontard, N y S. Guilbert. 1993. Biopacking technology and properties of edible and/or biodegradable materials of agricultural origin. *Food Packaging and Preservation*, Mathlouti, M, Blackie, eds. London. 159 p.
- Gounga, M.E., S-Y. Xu., Z. Wang y W.G Yang. 2008. Effect of whey protein isolate-pullulan edible coatings on the quality and shelf life of freshly roasted and freeze-dried Chinese chestnut. *Journal of Food Science*. 73: 155-166.
- Gutiérrez, J.B. 2000. Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos, S.A. 569 p.
- Han, JH y A. Gennadios. 2005. Edible films and coatings: a review. *Innovations in food packaging*. Elsevier Academic, Oxford, England. 3-11 p.
- Han, C., Y. Zhao., S.W. Leonard y M.G. Traber. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biol Technologies* 33(1): 67-78.
- IFT. 2015. Sargento launches Balanced Breaks. Consultado el 13 de junio del 2015. Disponible en <http://www.ift.org/Food-Technology/Newsletters/Wellness-Newsletter/2015/April/040715.aspx>
- Inda, A. 2000. Optimización de rendimiento y aseguramiento de inocuidad en la Industria de Quesería. Centro Impresor Piedra Santa, Guatemala, C.A. 320 p.
- Javanmard, M. 2008. Effect of whey protein edible film packaging on the quality and moisture uptake of dried peanuts. *Journal of Food Engineering* 31: 503-516.

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

Mali, S., M.V.E. Grossmann, M.A. García, M.M. Martino, and N.E. Zaritzky. 2004. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, V.56, 129-135 p.

Marquez, Y.M. 2010. Formulación y caracterización de recubrimientos comestibles a base de proteína de suero de leche y almidones modificados. Título Ing. Químico en Alimentos. Querétaro, México, Universidad Autónoma de Querétaro. 80 p.

McHugh, T.H. y J.M. Krochta. 1994. Dispersed phase particle size effects on water vapor permeability of whey protein-beeswax edible emulsions films. *Journal of Food Processing Preservation* 18:173-188.

Mendieta, P.C. 2014. Optimización de emulsiones cárnicas a partir de metodología de superficie de respuesta. Tesis. Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana.

Monaha, F., D. McClement y J. Kinsella. 1993. Polimerization of whey protein stabilized emulsion. *Journal of Food Chemistry* 41: 1826-1829.

Monterrey-Quintero, E. e P. Sobral. 2000. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilapia-do-nilo para elaboração de biofilmes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V.35, N.1. 179-189 p.

Moreno, O. 2013. Efecto de la incorporación de suero de mantequilla en las propiedades físicas de films comestibles de almidón de maíz. Tesis M.Sc. Ingeniería de los alimentos. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia. 21 p.

Moro, T. 2013. Caracterización físico-química de bioplásticos elaborados por extrusión y Termoconpresión a partir de harina de maracuya (*passiflora edulis sp.*). 2013. Dissertação (Maestría de Tecnología de Alimentos). Instituto de Tecnología, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro

Muñoz, J.M. 2014. Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera. Tesis Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana.

Naranjo, N.J. 2008. Efecto de la presión de homogenización de la leche en las propiedades físico-químicas y sensoriales del queso crema Zamorano. Tesis. Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Hondura, Escuela Agrícola Panamericana. 20 p.

Oliveira, L.M., Alves, R., Sarantopoulis., Padula, M., García, e., Coltro, L. 1996 Ensaios para avilacao de embalagues plásticas e flexiveis. Campinas: Centro de Tecnología de Embalagem/Ital. 216 p.

Padilla, H.L. 2002. Elaboración de queso crema con loroco (*Fernaldia pindurata*). Tesis. Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Hondura, Escuela Agrícola Panamericana. 3 p.

Perez-Gago, M.B., P. Nadaud y J.M. Krochta. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. *Journal of Food Scienc* 64 (6): 1034-1037.

Rocha, G. 2009. Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido de mandioca e extrato protéico de soja. Grau de mestre em ciências no programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos, área de concentração em tecnologia de alimentos. Seropédica, rj. Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro. 2-57 p.

Rodrigues, M. I y A. F. Lemma. 2012. Diseño experimental y optimización de procesos. Editora Carita. Campinas, Brasil.

Rossmann, J y M. Kalcher. 2012. Determination of the oxidation stability of fat-containing solid foodstuffs (en línea). Consultado el 14 de septiembre del 2015. Disponible en <http://www.metrohm.com/com/Applications>.

Sagastume, J.F. 2005. Efecto del uso de estabilizadores en el rendimiento y características físico-químicas y sensoriales del queso crema Zamorano. Tesis. Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Hondura, Escuela Agrícola Panamericana. 11 p.

Servet, S. 2007. *Physical Properties of Foods*. Springer Science and Business Media. 169 p.

Sothotnit, R y J.M. Krochta. 2000. Water vapor permeability and solubility of films from hydrolyzed whey protein. *Journal of Food Science* 65: 700-703.

Soto, J., Candelas, M. 2001. Isotermas de sorción a diferentes temperaturas para el higo variedad misión. Durango, México.

St.Onge, M.P. 2005. Dietary fats, teas, dairy, and nuts: Potential functional foods for weight control. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 7-8 p.

Tien, C., C. Vachon., M.A. Mateescu y M. Lacroiz. 2001. Milk protein coatings prevent oxidative browning of apples and potatoes. *Journal of Food Science* 66(4) 512-516.

Tuhran, K.N., Z. Sancak., B. Ayana y F. Erdogdu. 2007. Optimization of glycerol effect on the mechanical properties and water permeability of whey protein-methylcellulose films. *Journal of Food Process Engineering* 30: 485-500.

Ustuno, Z. y B. Mert. 2004. Water solubility, mechanical, barrier, and thermal properties of cross linked whey protein isolate-based films. *Journal of Food Science* 69(3): 129-133.

Vergara, J.S. 2008. Correlación entre bacterias psicrófilas, psicrótrofas y coliformes totales en leche semi-descremada y chocolatada de la planta de lácteos Zamorano. Tesis. Ing. Agroindustrial. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 7 p.

Vicentini, N. 2003. Elaboração e caracterização de filmes comestíveis a base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita (Tese De Doutorado) Faculdade De Ciências Agrônômicas – Unesp, Botucatu – Sp.

Vickers, Z., A. Peck., T. Labuza y G. Huang. 2014. Impact of almond form and moisture content on texture attributes and acceptability. *Journal of Food Science* 79(7): 1399-1406.

7. ANEXOS

Anexo 1. Valores F calculado $P < 0.1$ para variables grosor, PVA, solubilidad en agua, fuerza de perforación, DP, tensión y módulo de elasticidad.

Fuente de variación					
Grosor	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regresión	0.003	2	0.001715	7.91844	2.73
Residuos	0.002	10	0.000217		
Total	0.006	12			

Fuente de variación					
PVA*	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regresión	0.161442	1	0.161442	8.20456	3.23
Residuos	0.216448	11	0.019677		
Total	0.377891	12			

*Permeabilidad al vapor de agua

Fuente de variación					
S. Agua*	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regresión	194.3723	1	194.3723	3.82452	3.23
Residuos	559.0497	11	50.8227		
Total	753.4220	12			

*Solubilidad en agua

Fuente de variación FP*	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regresión	10.07312	5	2.014624	10.2192	2.88
Residuos	1.37998	7	0.19714		
Total	11.45310	12			

*Fuerza de perforación

Fuente de variación DP*	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regresión	1.666525	2	0.833263	4.25398	2.92
Residuos	1.958782	10	0.195878		
Total	3.625307	12			

*Deformación por perforación

Fuente de variación	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Tensión					
Regresión	1.687629	2	0.843815	17.711	2.92
Residuos	0.476434	10	0.047643		
Total	2.164064	12			

Fuente de variación	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
ME*					
Regresión	1.687629	2	0.843815	17.711	2.92
Residuos	0.476434	10	0.047643		
Total	2.164064	12			

*Módulo de elasticidad

Anexo 2. Formulación del recubrimiento óptimo a base de almidones, proteína de suero de leche y glicerina.

Ingredientes	Cantidad (%)
Almidón de maíz	47
Almidón de yuca	47
Proteína de suero de leche	6
Glicerina	44.32 (p/v)

p/v: relación entre el peso y volumen.

Anexo 3. Hoja de evaluación sensorial usada en análisis de preferencia.

HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE ZAMORELLA CON ALMENDRAS

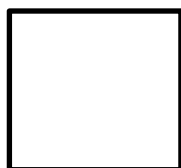
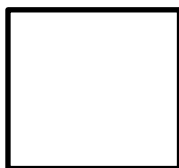
Nombre:
Nacionalidad:

Edad:
Fecha:

Instrucciones:

- Se le presentará 3 muestras de zamorella con almendras
- Escriba los códigos de las muestras sobre las líneas punteadas
- Empezar de izquierda a derecha
- Limpie su paladar entre cada muestra con agua y galleta de soda
- Escriba las muestras en orden de preferencia, colocando en el recuadro el número 1 a su muestra preferida, el número 2 y 3 a las muestras menos preferidas respectivamente.

Muestra: _____



Comentarios

¡Gracias por su participación!

Anexo 4. Tabla de puntos de porcentaje de la distribución F (P= 0.10).

v2 \ v1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,91	59,44	59,86	60,19	60,71	61,22	61,74	62,00	62,26	62,53	62,79	63,06	63,33
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37	9,38	9,39	9,41	9,42	9,44	9,45	9,46	9,47	9,47	9,48	9,49
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25	5,24	5,23	5,22	5,20	5,18	5,18	5,17	5,16	5,15	5,14	5,13
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95	3,94	3,92	3,90	3,87	3,84	3,83	3,82	3,80	3,79	3,78	3,76
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34	3,32	3,30	3,27	3,24	3,21	3,19	3,17	3,16	3,14	3,12	3,10
6	3,78	3,48	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98	2,96	2,94	2,90	2,87	2,84	2,82	2,80	2,78	2,76	2,74	2,72
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,83	2,78	2,75	2,72	2,70	2,67	2,63	2,59	2,58	2,56	2,54	2,51	2,49	2,47
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59	2,56	2,54	2,50	2,46	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34	2,32	2,29
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47	2,44	2,42	2,38	2,34	2,30	2,28	2,25	2,23	2,21	2,18	2,16
10	3,29	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38	2,35	2,32	2,28	2,24	2,20	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08	2,06
11	3,23	2,86	2,66	2,54	2,45	2,39	2,34	2,30	2,27	2,25	2,21	2,17	2,12	2,10	2,08	2,05	2,03	2,00	1,97
12	3,18	2,81	2,61	2,48	2,39	2,33	2,28	2,24	2,21	2,19	2,15	2,10	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96	1,93	1,90
13	3,14	2,76	2,56	2,43	2,35	2,28	2,23	2,20	2,16	2,14	2,10	2,05	2,01	1,98	1,96	1,93	1,90	1,88	1,85
14	3,10	2,73	2,52	2,39	2,31	2,24	2,19	2,15	2,12	2,10	2,05	2,01	1,96	1,94	1,91	1,89	1,86	1,83	1,80
15	3,07	2,70	2,49	2,36	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09	2,06	2,02	1,97	1,92	1,90	1,87	1,85	1,82	1,79	1,76
16	3,05	2,67	2,46	2,33	2,24	2,18	2,13	2,09	2,06	2,03	1,99	1,94	1,89	1,87	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72
17	3,03	2,64	2,44	2,31	2,22	2,15	2,10	2,06	2,03	2,00	1,96	1,91	1,86	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69
18	3,01	2,62	2,42	2,29	2,20	2,13	2,08	2,04	2,00	1,98	1,93	1,89	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66
19	2,99	2,61	2,40	2,27	2,18	2,11	2,06	2,02	1,98	1,96	1,91	1,86	1,81	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,63
20	2,97	2,59	2,38	2,25	2,16	2,09	2,04	2,00	1,96	1,94	1,89	1,84	1,79	1,77	1,74	1,71	1,68	1,64	1,61
21	2,96	2,57	2,36	2,23	2,14	2,06	2,02	1,98	1,95	1,92	1,87	1,83	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66	1,62	1,59
22	2,95	2,56	2,35	2,22	2,13	2,06	2,01	1,97	1,93	1,90	1,86	1,81	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57
23	2,94	2,55	2,34	2,21	2,11	2,05	1,99	1,95	1,92	1,89	1,84	1,80	1,74	1,72	1,69	1,66	1,62	1,59	1,55
24	2,93	2,54	2,33	2,19	2,10	2,04	1,98	1,94	1,91	1,88	1,83	1,78	1,73	1,70	1,67	1,64	1,61	1,57	1,53
25	2,92	2,53	2,32	2,18	2,09	2,02	1,97	1,93	1,89	1,87	1,82	1,77	1,72	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,52
26	2,91	2,52	2,31	2,17	2,08	2,01	1,96	1,92	1,88	1,86	1,81	1,76	1,71	1,68	1,65	1,61	1,58	1,54	1,50
27	2,90	2,51	2,30	2,17	2,07	2,00	1,95	1,91	1,87	1,85	1,80	1,75	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57	1,53	1,49
28	2,89	2,50	2,29	2,16	2,06	2,00	1,94	1,90	1,87	1,84	1,79	1,74	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,52	1,48
29	2,89	2,50	2,28	2,15	2,06	1,99	1,93	1,89	1,86	1,83	1,78	1,73	1,68	1,65	1,62	1,58	1,55	1,51	1,47
30	2,88	2,49	2,28	2,14	2,05	1,98	1,93	1,88	1,85	1,82	1,77	1,72	1,67	1,64	1,61	1,57	1,54	1,50	1,46
40	2,84	2,44	2,23	2,09	2,00	1,93	1,87	1,83	1,79	1,76	1,71	1,66	1,61	1,57	1,54	1,51	1,47	1,42	1,38
80	2,79	2,39	2,18	2,04	1,95	1,87	1,82	1,77	1,74	1,71	1,66	1,60	1,54	1,51	1,48	1,44	1,40	1,35	1,29
120	2,75	2,35	2,13	1,99	1,90	1,82	1,77	1,72	1,68	1,65	1,60	1,55	1,48	1,45	1,41	1,37	1,32	1,26	1,19
∞	2,71	2,30	2,08	1,94	1,85	1,77	1,72	1,67	1,63	1,60	1,55	1,49	1,42	1,38	1,34	1,30	1,24	1,17	1,00

326

Anexo 5. Tabla de valores críticos para Chi cuadrado.

<i>2-tailed</i> df	α	Probability Under H_0 that $\chi^2 \geq$ chi-square				
		.20	.10	.05	.02	.01
1	1.64	2.71	3.84	5.41	6.64	10.83
2	3.22	4.60	5.99	7.82	9.21	15.82
3	4.64	6.25	7.82	9.84	11.54	16.97
4	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28	18.46
5	7.29	9.24	11.07	13.50	15.09	20.52
6	8.56	10.64	12.59	15.05	16.81	22.46
7	9.80	12.02	14.07	16.62	18.48	24.32
8	11.05	13.56	15.51	18.17	20.09	26.12
9	12.24	14.68	16.92	19.68	21.67	28.88
10	13.44	15.99	18.51	21.18	23.21	29.59
11	14.63	17.28	19.68	22.62	24.72	31.26
12	15.81	18.55	21.03	24.05	26.22	32.91
13	16.98	19.81	22.36	25.47	27.69	34.55
14	18.15	21.06	23.68	26.87	29.14	36.12
15	19.31	22.31	25.00	28.28	30.58	37.70
16	20.46	23.54	26.30	29.63	32.00	39.29
17	21.62	24.77	27.59	31.00	33.41	40.76
18	22.76	25.99	28.87	32.36	34.80	42.31
19	23.90	27.20	30.14	33.69	36.19	43.82
20	25.04	28.41	31.41	35.02	37.57	45.32
21	26.17	29.62	32.67	36.34	38.95	46.80
22	27.30	30.81	33.92	37.66	40.29	48.27
23	28.45	32.01	35.17	38.97	41.64	49.73
24	29.55	33.20	36.42	40.27	42.98	51.18
25	30.68	34.38	37.65	41.57	44.31	52.62
26	31.80	35.56	38.88	42.86	45.64	54.05
27	32.91	36.74	40.11	44.14	46.96	55.48
28	34.03	37.92	41.34	45.42	48.28	56.89
29	35.14	39.09	42.56	46.69	49.59	58.30
30	36.25	40.26	43.77	47.96	50.89	59.70

Reprinted from E.S. Pearson and C.M. Thompson, Table of percentage points of the chi-square distribution, *Biometrika*, Vol. 52, 1941, by permission of the Biometrika Trustees.