Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería de Alimentos | Facultad de Ingeniería

7-4-2019

Evaluación de las propiedades físicas de películas de gliadinas con el uso de formaldehído como agente entrecruzante

Jefer Andrés Arriaga Perea

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos

Citación recomendada

Arriaga Perea, J. A. (2019). Evaluación de las propiedades físicas de películas de gliadinas con el uso de formaldehído como agente entrecruzante. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/260

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería de Alimentos by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Evaluación de las propiedades físicas de películas de gliadinas con el uso de formaldehído como agente entrecruzante.

Jefer Andrés Arriaga Perea

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Alimentos

Bogotá D.C., Colombia

2018

Evaluación de las propiedades físicas de películas de gliadinas con el uso de formaldehído como agente entrecruzante.

Jefer Andrés Arriaga Perea

Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero de Alimentos

Dirigido por: Ingeniero Jader Rodríguez Cortina

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Alimentos

Bogotá D.C., Colombia

2018

Dedico este trabajo principalmente a Dios, Por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor para conmigo, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre, por ser la persona que más ha luchado para que hoy en día sea un profesional, Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

A mi hermano, por estar siempre presente, por apoyarme, y por creer siempre en mí.

A Jesika Feria, la madre de mis hijos, por estar siempre a mi lado, en buenas y malas, por enseñarme que las personas que más te quieren, están siempre para ti, a pesar de los malos momentos, pero sobre todo quiero agradecerte, por los mejores regalos de nuestras vidas, Juanpis y Ana Lucia.

JEFER ANDRÉS ARRIAGA PEREA

AGRADECIMIENTOS

A Jader Rodríguez Cortina, Ingeniero Agroindustrial Ph.D., director del trabajo de grado por su paciencia, colaboración y supervisión para llevar a cabo los objetivos propuestos en esta investigación, por encontrarse presente en cada una de las etapas del desarrollo de este proyecto.

A Luis Miguel Triviño Ingeniero de Alimentos, Auxiliar de Planta Piloto por el préstamo del Lugar, tiempo de acompañamiento y guía en los espacios de planta piloto de la universidad.

A la Ingeniera María Patricia Chaparro González, por su acompañamiento en el desarrollo de este trabajo, por su colaboración y disposición.

Al ingeniero Andrés Giraldo Toro, por su paciencia, colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A todo el cuerpo docente del programa de Ingeniería de Alimentos, que a lo largo de la carrera me transmitieron y brindaron sus experiencias, que me van a permitir desempeñar la profesión con mayor ética y honestidad

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas, mecánicas, ópticas, estructurales y de barrera de las películas adicionadas con formaldehido, Para ello se realizaron varias formulaciones, a las cuales se les evaluó el espesor, color, pérdida de peso, permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas. Los resultados mostraron que en cuanto al color se presentaron valores promedio de luminosidad para el tratamiento T1 de 73,30 ± 1,485, para el tratamiento T2 de 76,05 ± 0,070. Para la cromática a* en el tratamiento T1 -0,26 ± 0,106 y para el tratamiento T2 de -0,05 ± 0,014. Para la cromática b*, el tratamiento T1 6,57 ± 3,059, y el tratamiento T2 3,49 ± 0,155, indicando que las películas con adición de entrecruzante tienen una mayor opacidad. En cuanto al efecto permeabilidad de vapor de agua, mostró diferencias significativas (P<0,05) valores PVA (permeabilidad al vapor de agua) entre 8,20 ± 0,0335 y 3,46 ± 0,455. Por otra parte, las películas presentaron diferencias estadísticamente significativas en el espesor, este varió entre 0,115 ± 0,014 y 0,056 ± 0,027 mm. La pérdida de peso y adsorción de agua, los valores obtenidos oscilaron entre 80,37% y 59,94%, con diferencias significativas, donde el control difiere de los tratamientos T1 y T2. En lo relacionado al color, los parámetros de la escala CIELAB, L*, a* y b* y los calculados croma (C*) y ángulo de tono (h*), revelan diferencias significativas (P<0,05) del mismo modo se observó que las propiedades mecánicas de las películas fueron afectadas al incorporar el formaldehido, siendo el esfuerzo a la tracción y la fuerza de ruptura los parámetros que presentaban más diferencias (P<0,05) donde los tratamientos difieren entre sí, el porcentaje de elongación generó diferencias significativas con valores entre 10,19 y 54,48%; el esfuerzo a la tracción presentó valores para T1 de 12,80 ± 0,35 y T2 20,39 ± 1,36 MPa, en el módulo de elasticidad la ruptura para el tratamiento T1 4,24 ± 0,02 y el tratamiento T2 8,25 ± 0,44 N. En general la adición de entrecruzante genera cambios en las propiedades mecánicas, físicas, estructurales aceptables, en películas a base de gliadina, siendo una alternativa para su aplicación en la tecnología de alimentos. Al comparar los resultados entre tratamientos se determina que el formaldehido ejerce efecto significativo en la mejora de las propiedades de la película y el tratamiento con mejor respuesta es el T2.

Palabras claves: películas, gliadina, formaldehido, propiedades mecánicas, propiedades físicas, espesor, color, permeabilidad de vapor de agua.

TABLA DE CONTENIDO

	p.
RESUMEN	5
GLOSARIO	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS	16
1. MARCO DE REFERENCIA	17
1.1 MARCO TEORICO	17
1.1.1 Envase	17
1.1.2 Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), envases y embalajes	17
1.1.3 Tipos de envase	17
1.1.4 Materiales, tipos de envases y embalajes	18
1.1.5 Consideraciones generales en el desarrollo de un envase	24
1.1.6 Entrecruzantes	25
1.2 ESTADO DEL ARTE	31
1.3 MARCO LEGAL	36
1.3.1. Especificación técnica	36
1.3.2. Norma	36
1.3.3. Reglamento técnico	37
1.3.4. Certificación	37
1.3.5. Legislación Americana (FDA)	37
2. METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN	38
2.1 Preparación de las películas	38
2.2 Caracterización de las propiedades de las películas	38

2.2.1 Determinación Medida de espesor 38

2.2.2 Color 38

2.2.3 pérdida de peso o absorción de agua 39

2.2.4 Permeabilidad al vapor de agua 40

2.2.5 Propiedades mecánicas 40

2.3 Evaluación estadística 41

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 43

3.1 Determinación de medidas de espesor 43

3.2 Determinación de propiedades ópticas (color) 45

3.3 Determinación de la pérdida de peso y absorción en agua 46

3.4 Determinación de permeabilidad al vapor de agua 49

3.5 Propiedades mecánicas 51

CONCLUSIONES 53

RECOMENDACIONES 54

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 55

ANEXOS 61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental para la evaluación de los recubrimientos entrecruzados 41
Tabla 2. Espesor (mm) de las películas 44
Tabla 3. Colorimetría de las películas obtenidas 45
Tabla 4. Permeabilidad al vapor de agua (g mm h-1 m-2 kPa1) de las películas 49
Tabla 5. Propiedades mecánicas de las películas con y sin adición de entrecruzante 51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los materiales biopoliméricos según su origen y método de producción.19
Figura 2. Sistema de color tridimensional que muestra la luminosidad 38
Figura 3. Esquema de las coordenadas de color (CIELAB) 39
Figura 4. Pérdida de peso o adsorción de agua 47

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico para determinación de espesor 61
Anexo 2. Análisis estadístico para determinación de color (L*, a*, b*, C* Y h°) 62
Anexo 3. Análisis estadísticos para determinación de la Pérdida de peso o absorción en agua 67
Anexo 4. Análisis estadístico para determinación de Permeabilidad al vapor de agua 68
Anexo 6. Análisis estadístico para Propiedades mecánicas 69
Anexo 7. Ficha técnica del gluten de trigo 72

GLOSARIO

Biopolímero: los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. Una definición de los mismos los considera materiales poliméricos o macromoleculares sintetizados por los seres vivos. Entre los biopolímeros también se incluyen materiales sintéticos con la particularidad de ser biocompatibles con el ser vivo.

Envase: artículo fabricado con cualquier material que se utiliza para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar productos desde materia prima hasta producto terminado y desde el fabricante hasta el usuario o consumidor.

Gliadina: la gliadina es una glucoproteína presente en trigo y otros cereales dentro del género *Triticum.* Las gliadinas son prolaminas y se distinguen sobre la base de su motilidad electroforética y su enfoque isoeléctrico.

Polímeros: los **polímeros** son macromoléculas generalmente orgánicas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. El almidón, la celulosa, la seda y el ADN son ejemplos de polímeros naturales, entre los más comunes de estos y entre los polímeros sintéticos encontramos el nailon, el polietileno y la baquelita.

Propiedades funcionales: se definen como el conjunto de propiedades físicas (color) y mecánicas que caracterizan un material polimérico.

Vida útil: periodo comprendido entre la producción y el consumo, durante el cual se mantiene un nivel satisfactorio de calidad evaluado a través del valor nutritivo, sabor, textura y apariencia del producto.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los plásticos son, en la actualidad, una parte esencial de nuestra vida cotidiana ya que están presentes en todos los sectores industriales y de forma destacada en la fabricación de envases y embalajes, actividad que consume más de la mitad de la producción total. Sin embargo, tienen su contrapartida en el impacto que generan al medio ambiente, debido a la lenta degradación de estos materiales y el empleo de materias primas no renovables para su elaboración Este grave inconveniente ha dado lugar a una constante innovación y progreso en el desarrollo de nuevos materiales de envasado que permitan tanto conservar las características de calidad de los alimentos como reducir la contaminación ambiental ocasionada por el empleo de materiales no biodegradables.

En búsqueda de una solución a la problemática medioambiental existente en nuestros días entorno a la producción de residuos de envases plásticos y su reciclado, junto con el uso de fuentes no renovables como el petróleo, ha surgido con fuerza desde los organismos gubernamentales un gran interés en el desarrollo de materiales con carácter biodegradable, obtenidos a partir de materias primas renovables, derivadas de plantas y bacterias, más respetuosos con el medio ambiente (Tharanathan, 2003).

Según Moreno, et al., (2014) la biodegradación es, en general, definida como un proceso que tiene lugar a través de la acción de enzimas y/o descomposición química asociada con organismos vivos (bacterias, hongos, etc.) o la secreción de sus productos. Desde el punto de vista ambiental, se entiende por degradación todo proceso capaz de producir, a largo plazo, un cambio profundo del ecosistema. La degradación del suelo implica una regresión en la evolución edáfica, desde un estado más avanzado en la sucesión, hacia otro inferior. Por otra parte, FA0 (1980) Y PNUMA (1984), definen la degradación en términos de productividad, como un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir bienes o servicios.

Una ventaja adicional de los envases biodegradables es que con su desintegración y compostaje actúan como fertilizantes acondicionando el suelo y los cultivos. En un medio ambiente

compostable un polímero biodegradable se degrada de 1 a 3 años, un tiempo mucho menor que en condiciones naturales.

El gluten de trigo es un agropolímero comestible, biodegradable y renovable, con características apropiadas para la producción de materiales para envases alimentarios. Su mayor limitación, es su falta de resistencia mecánica y su baja barrera al vapor de agua causada por su naturaleza hidrofílica (Hernández-Muñoz et al., 2004). Se ha observado que las cadenas de proteínas del gluten de trigo poseen grupos laterales reactivos que pueden ser potencialmente modificables a través de entrecruzamiento químico, físico o enzimático los cuales podrían mejorar las propiedades funcionales de estas películas.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La adición de formaldehído (FA) como agente entrecruzante en dispersiones ricas en glidianas podrá mejorar las propiedades físicas de la película obtenida?

JUSTIFICACION

Los plásticos hoy en día generan un impacto desfavorable al medio ambiente debido a su baja velocidad de degradación y las materias primas no renovables para su elaboración. Este problema ha llevado a contemplar el desarrollo de materiales poliméricos que sean amigables con el medio ambiente y que sean obtenidos de fuentes naturales y que permitan conservar las características de calidad de los alimentos.

Los polímeros biodegradables podrían ser una alternativa a este problema. Estos se pueden extraer directamente de fuentes naturales, es el caso de polisacáridos como el alginato o proteínas como la zeína. También se pueden obtener mediante síntesis química, como el alcohol polivinílico. Hoy en día, en la industria del envase se pueden encontrar el celofán, el colágeno, el ácido poliláctico o los polihidroxialcanoatos y sus copolímeros.

El entrecruzamiento de polímeros y la copolimerización de polímeros naturales con monómeros sintéticos son otra valiosa alternativa para la obtención de plásticos biodegradables y con propiedades adecuadas para ser empleados en envases alimentarios (Tharanathan, 2003).

DELIMITACIÓN

Se realizará una recopilación de información pertinente, de investigaciones reportadas sobre el efecto del formaldehido como agente de entrecruzamiento en dispersiones ricas en gliadinas para mejorar las propiedades físicas. La revisión bibliográfica previa determinará los vacíos que existen en información científica sobre el efecto que tiene la adición de entrecruzantes en películas. Los estudios serán realizados en la universidad de la Salle, Bogotá D.C. 2018.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del formaldehido como agente de entrecruzamiento en dispersiones ricas en gliadinas para mejorar las propiedades físicas de las películas obtenidas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el efecto sobre las propiedades físicas de películas de gliadina con el uso de formaldehido en dos concentraciones.
- Comparar los resultados obtenidos con una película sin entrecruzar.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1. Envase según la directiva europea 94/62 CE podemos definir envase como: todo producto fabricado con cualquier material de cualquier naturaleza que se utilice para contener, proteger manipular, distribuir y presentar mercancías desde materias primas hasta artículos acabados y desde el fabricante hasta el usuario o consumidor final.

1.1.2. El **Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)** en su documento "Envases y embalajes" marzo del año 2012, define que: el **Embalaje** es la cobertura que da mayor protección y poder de manipulación a las mercancías envasadas. Su función es perfeccionar las condiciones para el almacenamiento, transporte y llegada a destino de los productos en óptimo estado. Habitualmente se dice que el embalaje es "el envase del envase". En este caso, la caja que contiene a todos los frascos de perfume para ser transportados a los comercios es el embalaje. Mientras el envase contiene al producto y promueve su identidad, el embalaje protege al envase. El envase es la protección individual de cada uno de los productos. El embalaje, la protección colectiva (por eso se lo relaciona además con el almacenamiento).

1.1.3. Tipos de envase

- Por su relación con el producto a envasar, el INTI clasifica los envases en:

Envase primario: Es el que está en contacto directo con el producto, casi siempre permanece en él hasta su consumo. Por ejemplo, si el emprendimiento es sobre elaboración de mermeladas, los frascos que las contienen son un envase primario. Las características del producto deben aparecer en el envase.

Envase secundario: Es el que contiene el o los envases primarios, más todos los accesorios de embalaje (por ejemplo, separadores tales como cuadrículas de cartón, rejillas de plástico, entre otros). Muchas veces este segundo envase se utiliza para exhibir el producto y es el que juega también un papel en la protección y en la información de sus características. Normalmente, este tipo de envase se desecha después de adquirir el producto.

Envase terciario (de transporte): Es el utilizado para agrupar, manipular, almacenar y trasladar los productos. Contiene tanto envases primarios como secundarios, es decir, y siguiendo con el mismo ejemplo, puede tratarse de una caja de cartón corrugado que contiene las cajas de cartulina (secundario) que tienen los frascos (primario) que contienen al producto (mermeladas).

- *Por su vida útil, los envases se clasifican en:*

  - Envases retornables: son creados para ser devueltos al envasador, para que sean reacondicionados, limpiados adecuadamente y vueltos a llenar con el mismo producto, como por ejemplo los envases de vidrio para cerveza (envase primario retornable).
  - Envases no retornables o descartables: Están pensados para un solo uso, y ser desechados luego de su utilización. Por ejemplo, si el emprendimiento es sobre elaboración de detergente, el envase de plástico (primario), una vez consumido el producto, se lo descarta.
  - Envases reciclables: Son diseñados para ser reprocesados luego de su uso, obteniendo un producto similar o diferente al original. Hay una reutilización de los materiales que componen al envase. Es importante señalar que prácticamente todos los envases cumplen con esta función, lo que es un aspecto importante en el cuidado del medio ambiente. La lata, el papel, el plástico y el vidrio son algunos de los materiales utilizados para la elaboración de envases. En esos envases aparecen los símbolos que identifican internacionalmente su proceso de reciclaje.

1.1.4. Materiales y tipos de envases y embalajes

El INTI clasifica las características generales de los materiales

Los principales materiales que se utilizan para la confección de envases y embalajes son:

- Madera
- Vidrio
- Metal
- Papel y cartón
- Plástico
- Bioplásticos

Para términos del estudio se explica que son los plásticos y sus derivados.

- **Plástico**

Los envases de plástico que actualmente se comercializan pueden ser de tipo rígido (botellas, frascos, cajas, estuches), termoformado (bandejas para viandas) o flexibles (mallas tejidas, multicapas, film). Los envases de plástico son de lo más seleccionados por los emprendedores por ser, principalmente, económicos, funcionales y livianos. Si bien algunos son permeables, también hay envases de plástico con las propiedades de resistencia, barrera y sellado.

- **Bioplásticos**

Los bioplásticos son plásticos de origen natural procedentes de biomasa. Estos biomateriales deberán presentar características de biodegradabilidad y propiedades mecánicas apropiadas que supongan una alternativa a los materiales fabricados con polímeros sintéticos o derivados petroquímicos. Además, los bioplásticos, que pueden ser comestibles, tienen diversas aplicaciones en envases y como matrices controladoras de la difusión de sustancias al medio (agua, alimento, etc.), o con alta capacidad de rehidratación actuando como superabsorbentes.

No deben confundirse los plásticos biodegradables (que pueden ser producidos a partir del petróleo y ser degradados posteriormente por los microorganismos) con los biopolímeros, producidos a partir de biomasa. Los polímeros elaborados a partir de biomasa pueden dividirse en tres categorías principales basadas en su origen y producción (Petersen et. al., 1999), tal y como se muestra en la Figura 1:

- ***Categoría 1:*** polímeros extraídos a partir de productos agropecuarios y marinos, como son los polisacáridos (la celulosa, el almidón, el quitosano y proteínas como la caseína, el gluten y el colágeno).

- ***Categoría 2:*** polímeros producidos por síntesis química a partir de monómeros de biomasa, como el ácido poliláctico.

- ***Categoría 3:*** polímeros producidos por microorganismos naturales o genéticamente modificados.

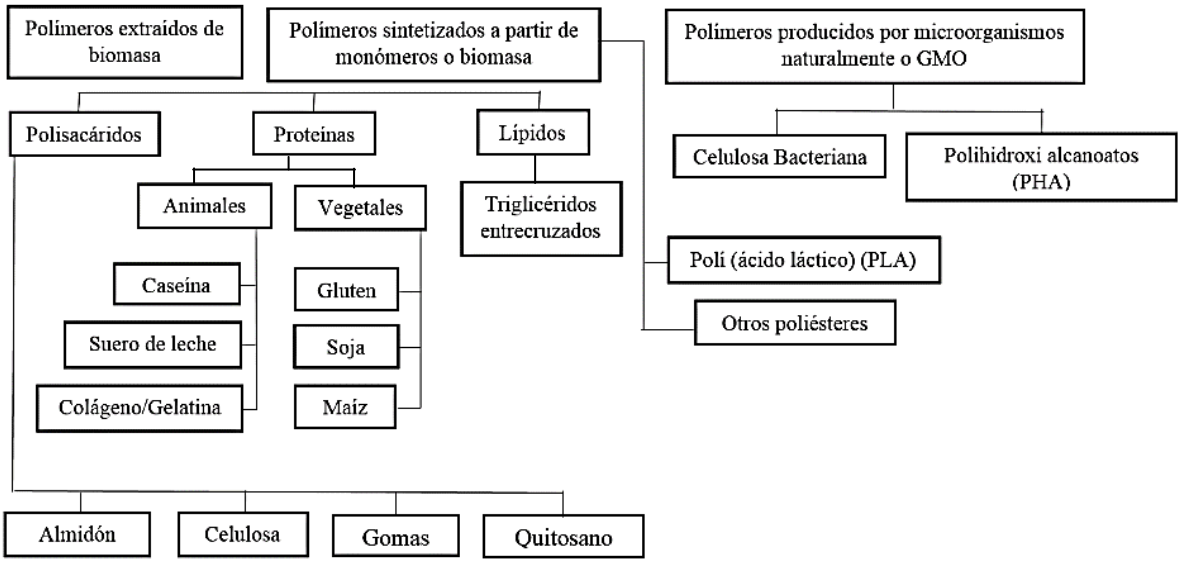


Figura 1. Clasificación de los materiales biopoliméricos según su origen y método de producción.

Entre los biomateriales presentes actualmente en el mercado, se encuentran el ácido poliláctico y los polihidroxialcanoatos como sustitutos de las poliolefinas. De entre los materiales extraídos de biomasa, los plásticos derivados del almidón son los más extendidos y económicos. (Petersen et. al., 1999).

Las características básicas demandadas para las películas biodegradables y comestibles, destinadas al envasado de alimentos, son las mismas que para los materiales sintéticos. Según Petersen et. al., (1999), deben ser organolépticamente compatibles con el alimento envasado y protegerlo de contaminaciones externas, del oxígeno, luz, vapor de agua y microorganismos, (Petersen et. al., 1999).

Además, de contribuir activamente a mantener la calidad del alimento envasado, pueden contener antioxidantes o agentes que migren desde la película al alimento y que mejoran la calidad o la estabilidad del mismo. Estos materiales deben poseer propiedades adecuadas en cuanto a resistencia mecánica, procesabilidad, transparencia, además de disponibilidad y coste. Una característica importante a considerar y que está adquiriendo cada vez más peso es el origen y el proceso de eliminación del envase al final de su vida útil (Petersen et. al., 1999).

- **Polímeros elaborados a partir de proteínas**

Las proteínas son macromoléculas naturales capaces de formar estructuras tridimensionales amorfas estabilizadas principalmente por interacciones no covalentes. Numerosas proteínas vegetales y animales han sido utilizadas en la elaboración de películas biodegradables (Cuq et al., 1998). Los estudios y desarrollos enfocados a la obtención de materiales con propiedades plásticas utilizan generalmente aquellas proteínas que se encuentran en grandes cantidades en la naturaleza: proteínas de reserva de granos (soja, girasol), cereales (gluten, maíz) o proteínas de tejido animal (colágeno, queratina) (Rouilly et al., 2002).

Las películas elaboradas a partir de proteínas pueden actuar como barrera a la transferencia de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aceites, grasas y compuestos volátiles de manera que empleadas como materiales de envasado pueden reducir y retrasar el deterioro de la calidad y aumentar la vida útil de los alimentos (Hernández-Muñoz et al., 2004). Por tanto, en principio pueden considerarse como una alternativa a otros materiales procedentes del petróleo.

- **Proteínas del gluten de trigo**

El gluten de trigo es un agropolímero comestible, biodegradable y renovable, con características apropiadas para la producción de materiales para envases alimentarios.

Puede definirse como una mezcla de proteínas constituida por una fracción polimérica (gluteninas) y una fracción monomérica (gliadinas) en similar proporción. La fracción polimérica consiste en polipéptidos unidos por enlaces disulfuro, formando el macropolímero de gluteninas. La fracción monomérica está formada por cadenas polipeptídicas, que interaccionan con el macropolímero de gluteninas por enlaces secundarios (Domenek et al., 2004). Las películas elaboradas a partir de gluten tienen excelentes propiedades barrera al oxígeno y dióxido de carbono a humedades relativas bajas e intermedias. Su mayor limitación, atribuible en general a las películas de origen proteico, es su falta de resistencia mecánica y su baja barrera al vapor de agua causada por su naturaleza hidrofílica (Hernandez-Muñoz et al., 2004).

Dada la elevada densidad de energía cohesiva que presentan las proteínas debido a fuerzas intermoleculares de diversa índole (puentes de hidrógeno; fuerzas de Van der Waals;

interacciones iónicas e interacciones hidrofóbicas), las películas obtenidas derivadas presentan gran rigidez. Para mejorar su flexibilidad se requiere la adición de un agente plastificante. Estas son sustancias de bajo peso molecular que al unirse a los materiales poliméricos modifican la organización tridimensional, disminuyen las fuerzas de atracción intermolecular y aumentan el volumen libre y la movilidad de las cadenas (Mangavel et al., 2003). Una de las consecuencias de los cambios en la organización molecular es una disminución en la temperatura de transición vítrea del polímero y un aumento en la flexibilidad y extensibilidad. La eficiencia de un plastificante viene dada por su peso molecular y polaridad, siendo el agua y el glicerol los plastificantes más comunes para una gran variedad de materiales proteicos (Pommet et al., 2005).

- **Gliadinas**

La gliadina es una glicoproteína presente en trigo y otros cereales dentro del género *Triticum*. Las gliadinas son prolaminas y se distinguen sobre la base de su motilidad electroforética y su enfoque isoeléctrico, las gliadinas son conocidas por su rol, junto con la glutenina, en la formación del gluten. Las gliadinas proveen el componente viscoso del gluten y constituyen un grupo heterogéneo de proteínas caracterizadas por cadenas polipeptídicas unidas por enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y enlaces disulfuro intramoleculares, siendo solubles en mezclas etanol/agua 70% (Hernández Muñoz et al., 2003). Han sido clasificadas en cuatro grupos α, β, γ, y ω, en base a su movilidad electroforética a pH bajos. Las gliadinas α, β, y γ son proteínas ricas en azufre y contienen únicamente enlaces disulfuro intramoleculares. (Hernández Muñoz et al., 2004).

1.1.5. Mecanismos de acción de los recubrimientos

- **Propiedades de permeabilidad de las películas.**

En el desarrollo de películas comestibles, se debe tener en cuenta la permeabilidad al vapor de agua, gases, solutos y lípidos. La permeabilidad es una medida del flujo sin tener en cuenta el grosor de la barrera (Rihman, 2002). De acuerdo a (Bósquez, 2003), para el caso de frutas y hortalizas, se desea restringir la transpiración y reducir la absorción de oxígeno, de esta forma se logra minimizar la tasa respiratoria del alimento. Las propiedades de permeabilidad de las

películas comestibles, son a menudo ineludibles debido a la composición química y la estructura de los polímeros formadores de la película y esta afecta la permeabilidad de los revestimientos. Los principales materiales para el desarrollo de películas, son materiales altamente polares, con un elevado grado de enlaces de hidrogeno que exhiben una alta permeabilidad gaseosa, además estos proporcionan una baja permeabilidad a la humedad, mientras que los no polares, como los lípidos constituyen una buena barrera ante los procesos de transpiración, aunque son permeables a los gases. Se pueden encontrar polímeros hidrocóloides e hidrófobos; entre los hidrocóloides se presenta los polisacáridos y proteínas y entre los hidrófobos los lípidos.

1.1.6. Materiales de las películas comestibles.

- **Polisacáridos.**

Comprenden un grupo abundante y renovable de agentes hidrófilos, estos biopolímeros de alto peso molecular, son solubles en agua y se les denomina hidrocóloides, las películas formuladas con estos compuestos tienen baja barrera a la migración al vapor de agua, también presenta una buena barrera a la permeabilidad de los gases (O2 y CO2), por otra parte confieren buenas propiedades mecánicas, las cuales ayudan a mejorar las propiedades de algunos productos frágiles (Bósquez, 2003). Entre los polisacáridos comúnmente empleados en la formulación de películas se encuentran, celulosa, pectinas, quitina, almidón, almidones modificados, carrageninas y gomas vegetales (Rihman, 2002). Las características principales de estas películas son, bajo costo, presentan buenas propiedades como atmosferas modificadas, debido a que no desarrollan condiciones de anaerobiosis.

- **Lípidos.**

Los recubrimientos desarrollados con estos componentes, comprenden de una naturaleza hidrófoba, están constituidos por esteres neutros de glicerol y ácidos grasos, en este grupo se incluyen las ceras que son esteres de cadena larga de alcoholes monohídricos y ácidos grasos. Los componentes lipídicos más comunes en el uso de revestimientos comestibles son: aceite de resino, ácidos grasos de fuentes comestibles, cáprico, laúrico, mirístico, oleico, palmítico y esteárico, aceite mineral, aceite de colza, aceite de soya; entre las ceras esta la cera de abejas, candelilla, carnauba, ceras de parafina ceras derivadas del petróleo (Rahman, 2002). El uso de

estos materiales en la formulación de recubrimientos, brindan una barrera efectiva contra la humedad, aunque se ha comprobado que los revestimientos con resinas pueden generar condiciones anaeróbicas debido a sus características de baja permeabilidad de gases (Bósquez, 2003).

- **Proteínas.**

Los materiales proteicos han sido utilizados desde tiempos remotos, esto se debe a su capacidad de formar películas. En la industria alimentaria se ha usado proteínas como la caseína de leche y zaina de maíz como revestimientos comestibles de cárnicos extruidos, así como de nueces y productos de confitería. Las películas proteicas son hidrófilas, por lo tanto, no ofrecen buena permeabilidad a la migración de agua. De acuerdo (Bósquez, 2013), las películas formuladas con proteínas tienen una buena adherencia a las superficies hidroliticas. Aunque, las películas proteicas secas, como la zeina, el gluten y la proteína de soya tienen una buena permeabilidad al O_2 relativamente baja. Entra las proteínas más usadas esta las proteínas de la leche (caseína y suero), colágeno y gelatina, gluten de trigo, zeina de maíz, proteína de soya, y proteína de cacahuate (Rahman, 2002).

- **Mezclas.**

Las formulaciones mixtas de compuestos hidrocóloides e hidrófobos, dan como resultado el aprovechamiento de las ventajas de cada componente. En general los compuestos hidrófobos (lípidos) brindan resistencia al vapor de agua, mientras que los hidrocóloides (proteínas y carbohidratos), presentan una selectiva permeabilidad de los gases (CO2 y O2), además proporcionan buena cohesión estructural. Estas mezclas pueden ser multilaminadas o bicapas o constituidos por una sola capa. En cuanto a la transferencia de masa, las mezclas bicapa son las más eficaces contra la migración de agua, este tipo de mezcla es bastante dispendiosa y costosa, esto se debe a que, en su preparación, se incluyen etapas de laminado y secado, el uso de disolventes y altas temperaturas. La efectividad de estas mezclas, depende directamente de la concentración de ambos componentes, de estado físico, longitud, grado de instauración y ramificación de la cadena hidrocarbonada de los lípidos (Navarro, 2010).

- **Emulsiones.**

Las emulsiones son un sistema formado por dos líquidos inmiscibles, generalmente agua y aceite, los cuales son termodinámicamente inestables y tiende a través del tiempo a separase (Bósquez, 2003). En las emulsiones se puede encontrar una fase dispersa, una fase continua y la interfase, al líquido circundante se le denomina fase continua, estas pueden clasificarse en dos grupos, emulsiones simples y emulsiones múltiples. Las emulsiones simples pueden ser definidas en dos clases que son aceite en agua (O/W) y agua en aceite (W/O), por otra parte las emulsiones múltiples son un sistema más sofisticado las simples son aceite-agua-aceite (O/W/O) o agua-aceite- agua (W/O/W), esta última presenta pequeños glóbulos de agua se dispersan en una fase oleosa y sin embargo esta fase aceitosa se dispersa en una fase acuosa (Bouyer y Col, 2012).

1.1.7. Consideraciones generales en el desarrollo de un envase

Además de los aspectos ya mencionados el **Instituto Nacional de Tecnología Industrial** dice que debemos tener en cuenta algunos criterios importantes al momento de la elección de un envase, diferentes sectores, tanto internos como externos al proyecto. Dentro de cada uno de esos aspectos se pueden definir ciertas preguntas y consideraciones que resultan interesantes practicar como ejercicio antes de avanzar sobre cada punto:

- **Producto:** Qué producto se va a envasar, por qué es necesario envasarlo.
- **Envase:** para la elección del envase es importante tener en cuenta, qué forma tendrá, cuáles son sus dimensiones, cuáles son los materiales necesarios para su confección, qué propiedades se desea que tenga (sistema de cierre y apertura), será reutilizable o descartable.
- **Proceso de envasado:** Cómo es el proceso.
- **Distribución física (almacenamiento, manipulación y transporte):** cuidados en la manipulación, cuáles son las exigencias legales y normativas.
- **Calidad:** Cómo lograr un envase de buena calidad,
- **Costos**
- **Medioambiente / ecología:** (reducción, recuperación, reutilización

1.1.8. Entrecruzantes

Compuesto que forma puentes de unión entre las moléculas poliméricas, convirtiendo los polímeros termoplásticos en termoestables multifuncionales que pueden contener: mínimo dos dobles enlaces polimerizables, al menos un doble enlace polimerizable y un grupo funcional reactivo con el monómero; capaces de formar entrecruzamientos iónicos. Generalmente el agente entrecruzante se utiliza en un porcentaje muy bajo en comparación con la del total de monómero o comonómeros que se utiliza en la reacción de polimerización. Estos agentes entrecruzantes han de poseer de varios grupos reactivos en su estructura molecular, para así poder entrecruzar distintas cadenas poliméricas, siendo habituales las tetra- y hexafuncionales (Katime et al., 2004).

Los entrecruzantes se denominan químicos o permanentes cuando consisten de redes entrecruzadas covalentemente. Al igual que los hidrogeles físicos, los hidrogeles químicos no son homogéneos. Generalmente contienen regiones de alta densidad de entrecruzamiento y bajo grado de hinchamiento (clusters), dispersas en las regiones de baja densidad de entrecruzamiento y alto índice de hinchamiento. La presencia de estos clusters se debe a la agregación hidrófoba del agente entrecruzante. En algunos casos, dependiendo de la composición, del disolvente, la temperatura y la concentración de sólidos durante la gelación, puede ocurrir separación de fases formándose macroporos. La incorporación de poliacrilatos en los biopolímeros y, específicamente, el injerto de monómeros acrílicos, da lugar a propiedades combinadas como la biocompatibilidad, atoxicidad y buena adhesión. Por otra parte, estas características han hecho realmente atractiva la producción de nuevos materiales preparados por esta vía. Durante la irradiación de sistemas acuosos, se forman radicales sobre la cadena del polisacárido mediante la escisión homolítica de los enlaces C-H. Los sólidos poliméricos son especialmente aptos para formar geles gracias a su estructura de largas cadenas. La flexibilidad de estas cadenas hace posible que se deformen para permitir la entrada de moléculas de disolvente dentro de su estructura tridimensional (Diana et al., 2012)

En la publicación hidrogeles Kopeček, Jindřich (2007). Principales características en el diseño de sistemas de liberación controlada de fármacos hacen mención de las características de los entrecruzantes, como también las divisiones estructurales de los mismos.

- **Características de los entrecruzantes**

Según (Issa Katime et al., 2004), los entrecruzantes presentan una serie de características particulares como son:

Carácter hidrófilo: debido a la presencia en la estructura de grupos solubles en agua (-OH, -COOH, -CONH2, -CONH, SO3H).

- Insolubles en agua: debido a la existencia de una red polimérica tridimensional en su estructura.
- Presentan una consistencia suave y elástica la cual está determinada por el monómero hidrófilo de partida y la baja densidad de entrecruzamiento del polímero.
- Se hinchan en agua aumentando considerablemente su volumen hasta alcanzar un equilibrio químico-físico, pero sin perder su forma. La forma no hidratada se denomina xerogel.
- El entrecruzamiento en los hidrogeles es debido no sólo a uniones covalentes (enlaces σ), típicas de cualquier material entrecruzado sino también a fuerzas intermoleculares de Van der Waals y a los enlaces de hidrógeno.
- En los hidrogeles existen, además, otros tipos de interacciones como son las fuerzas electrostáticas, tanto atractivas como repulsivas, uniones intermoleculares de componentes hidrófobos e interacciones iónicas.

- **Clasificación de los entrecruzantes**

Los entrecruzantes pueden clasificarse de varias formas dependiendo de qué características y propiedades particulares se tomen como referencia.

- En base a la naturaleza de los grupos laterales: -Neutros -Iónicos (aniónicos, catiónicos, anfolíticos).
- De acuerdo a sus características mecánicas y estructurales: -En redes afines -Redes fantasma.
- Dependiendo del método de preparación: -Red homopolimérica, copolimérica, multipolimérica, -Red polimérica interpenetrada.
- En base a la estructura física de la red -Amorfos -Semicristalinos -Estructuras por enlaces de hidrógeno -Agregados hidrocoloidales.

Otro comportamiento importante de los entrecruzantes es que también pueden presentar un comportamiento de hinchamiento dependiente del medio externo, se dice entonces que son hidrogeles fisiológicamente sensibles. Algunos de los factores que afectan al hinchamiento de este tipo de hidrogeles incluyen el pH, temperatura, fuerza iónica y radiación electromagnética.
Los monómeros más utilizados para preparar entrecruzantes pueden dividirse estructuralmente en tres categorías:
·Monómeros con sustituyentes laterales no ionizables. En esta categoría pueden ser incluidos la N-vinil-2-pirrolidona, el metacrilato de 2-hidroxietilo, etc.

·Monómeros con grupos funcionales ionizables, tales como los ácidos acrílicos, metacrílicos, 2-vinilpiridina, 4-vinilpiridina, ácido vinil-sulfónico, acrilamida, metaacrilamida. Los hidrogeles preparados a partir de estos monómeros adsorben, en general grandes cantidades de agua y por ello presentan muy pobres propiedades mecánicas por sí solos. Por esta razón, las estructuras mencionadas se utilizan para modificar otros monómeros menos hidrófilos.

·Monómeros cuyo grupo lateral consiste en dos grupos cargados y unidos a la cadena principal (monómeros zwiteriónicos).

- **Entrecruzantes cargados y complejos polielectrolitos**

La formación de complejos polielectrolitos (interpolímeros) es otra de las alternativas posibles para obtener hidrogeles. Estos complejos se forman mediante la adición de una disolución polimérica, que lleva incorporado un grupo aniónico en el sustituyente lateral de la cadena principal, sobre otra disolución polimérica que posea grupos potencialmente catiónicos. Este proceso provoca la formación de enlaces iónicos entre las cargas de signos opuestos de ambos polímeros.

- **Complejos con grupos ionizables de signos opuestos en cadenas poliméricas**

Los complejos polielectrolitos representan un tipo de hidrogel entrecruzado por enlaces iónicos. Estos enlaces existen en complejos polielectrolitos entre los sitios aniónicos y catiónicos de las

cadenas polielectrolíticas. Dichos complejos se preparan habitualmente con un exceso de una especie iónica o variando la proporción de un componente aniónico o catiónico. A modo de ejemplo se puede mencionar el complejo que se forma mediante la reacción del poli (cloruro de vinil-bencil-trimetil-amonio) con el poli (p-estireno-sulfonato de sodio), usualmente con un exceso de carga negativa.

- **Complejos polielectrolitos entrecruzados con iones polivalentes**

Algunos complejos polielectrolitos contienen un solo tipo de cadena polielectrolítica la cual está entrecruzada iónicamente por pequeños iones polivalentes. Este tipo de complejos usualmente contiene en su estructura al poli (ácido acrílico) o poli (ácido metacrílico) o copolímeros con la acrilamida. Dichos copolímeros se obtienen por copolimerización, o a través de una hidrólisis parcial de la poliacrilamida o poli(metaacrilamida). El agente entrecruzante más utilizado es una sal de un catión polivalente tal como el sulfato de aluminio, cuya fórmula es (Al 2 (SO4)3). Las membranas de estos complejos polielectrolitos presentan buenas propiedades de transporte, en diálisis y en los procesos donde se realizan variaciones de presión, al igual que las membranas de poli (ácidos carboxílicos) entrecruzados por cationes polivalentes.

En este proyecto el formaldehido es el entrecruzante elegido, para interactuar con la gliadina, y se encuentra definido de la siguiente manera.

- **Entrecruzante formaldehido**

El formaldehido es el más simple de los agentes de entrecruzamiento, tiene la especificidad de la reacción más amplia. Así mismo el grupo amina de la lisina, que reacciona con las cadenas laterales de cisteína, tirosina, histidina, triptófano y arginina. Aunque el formaldehído contiene un solo grupo funcional, puede reaccionar bifuncionalmente y por lo tanto entrecruzar. El formaldehído es también uno de los fijadores más utilizados. Sirven para estabilizar los detalles estructurales de las células y los tejidos. Con frecuencia no se aprecian la naturaleza y propiedades de este tipo de compuestos. (Herdon et al., 2005). Según el IDEAM, El Formaldehído es soluble en agua, alcoholes y otros solventes polares. En soluciones acuosas el Formaldehído se hidroliza y polimeriza y puede existir como metilenglicol, polioximetileno y otros compuestos. Las soluciones de Formaldehído en concentraciones mayores del 30% se

enturbian debido a la precipitación de los polímeros del Formaldehído, esto se evita adicionando estabilizantes como Metanol a la solución o manteniéndola a temperatura mayor de 100 °C. El formaldehído o metanal es un compuesto químico, más específicamente un aldehído (el más simple de ellos) altamente volátil y muy inflamable, de fórmula H2C=O El formaldehído ha sido el entrecruzante que más se ha utilizado y estudiado durante décadas debido a que el entrecruzamiento de proteínas con formaldehído se realiza de manera sencilla y tiene una gran eficacia, gracias a las reacciones de condensación que actúan sobre los grupos reactivos de aminoácidos de cadena lateral. El grupo aldehído puede reaccionar con nitrógeno y algunos otros átomos de proteínas formando un puente de metileno (-CH2-) entre dos átomos reactivos de las proteínas que están muy próximos entre sí, de esta manera se consigue en entrecruzamiento. También puede reaccionar con otras moléculas (hidratos de carbono, lípidos, ácidos nucleicos) al reaccionar con el formaldehído quedan atrapadas en una matriz de proteínas reticuladas. (Gemma H. 2013)

1.2 ESTADO DEL ARTE

El sector del envase y el embalaje está atravesando un proceso de continua evolución, esto es debido en gran parte a la innovación de las industrias y de los profesionales a cargo de la elaboración y mejoramiento, por lo cual, como ingenieros, debemos estar un paso más adelante ante las múltiples exigencias que surgen por parte de los consumidores, como pueden ser nuevos hábitos de consumo, exigencias de mercado, etc. Todo este fenómeno ha generado que el consumidor siempre quiera más, y ahora mucho más al encontrarnos en una época de conciencia ambiental acerca de los residuos sólidos y el reciclaje.

El mercado de películas y recubrimientos comestibles ha experimentado un crecimiento considerable en los últimos años y, de la mano ha crecido el conocimiento del tema a través de la investigación y el desarrollo tecnológico. Desde diferentes puntos de vista, la aplicación de películas y recubrimientos comestibles es de gran interés. Primeramente, esta tecnología tiene el potencial de impactar positivamente en una amplia variedad de alimentos, protegiéndolos durante su transporte y almacenamiento, conservando su calidad sensorial, nutrimental y microbiológica. Además, desde el punto de vista económico, la elaboración de películas y recubrimientos comestibles es una alternativa visible para proporcionar valor agregado a subproductos de la agricultura y la industria de los alimentos. Asimismo, bajo la perspectiva ecológica, responde a la necesidad de generar tecnologías que disminuyan la cantidad de empaques poliméricos no biodegradables contaminantes para el medio ambiente.

Películas y recubrimientos comestibles: Propiedades y aplicaciones en alimentos es una compilación de temas específicos en el área, presentada a través del punto de vista de los principales investigadores iberoamericanos, dando a conocer las bases científicas y tecnológicas de la aplicación de películas y recubrimientos comestibles en alimentos, que servirá como libro de consulta para estudiantes, académicos y procesadores de alimentos. (Guadalupe et al., 2013).

Respecto al desarrollo de materiales con carácter biodegradable a partir de fuentes naturales se pueden citar estudios hechos en películas a base de almidón, trigo, sorgo, papa y arroz. Además del desarrollo de películas se caracterizaron sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas. Las películas preparadas a partir de polisacáridos o proteínas poseen excelentes propiedades

mecánicas, ópticas y sensoriales, pero son sensibles a la humedad y tienen un alto coeficiente de permeabilidad al vapor de agua. (Luciana et al., 2007). El entrecruzamiento de polímeros y la copolimerización de polímeros naturales con monómeros sintéticos son otra valiosa alternativa para la obtención de plásticos biodegradables con propiedades adecuadas para ser empleados en envases alimentarios (Tharanathan, 2003).

Según Quintero, et al. (2010) El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados ha generado recientes avances respecto al efecto sinérgico de los componentes sobre la vida de anaquel de dichos alimentos. El uso de hidrocoloides, plastificantes, aditivos y compuestos activos, tiene como objetivo generar una atmósfera modificada (AM) que tiene la capacidad de controlar la transferencia de masa representada en solutos, solventes, gases (O2, CO2) e incluso migrar sustancias desde la matriz ubicada en la superficie del alimento, tener efectos positivos sobre el control de la tasa de crecimiento microbiano, y mantener características tan deseadas por los consumidores como firmeza, brillo, color de los frutos e incluso en alimentos procesados como los productos fritos pueden llegar a minimizar la absorción de lípidos. Por lo anteriormente anotado, su estudio y divulgación seguirá siendo un tópico de vital importancia en las tecnologías emergentes, ya que son evidentes sus efectos benéficos sobre la minimización de pérdidas postcosecha, ralentización en el consumo de materiales poliméricos sintéticos, desarrollo de nuevos e innovadores biomateriales, productos frescos y mínimamente procesados biofortificados que traen beneficios y bienestar a los consumidores.

En el estudio realizado por Gonzáles, et al., (2015) su objetivo fue caracterizar la viscoelasticidad dinámica lineal de biopelículas obtenidas con glicerol al 12 % (v/v), goma gelana (GG), concentrado de proteína de suero lácteo (CPS) y sus mezclas. Las biopelículas basadas en biopolímeros funcionales y concentrado de proteína de suero lácteo (CPS) son una alternativa en la industria alimentaria al empaque tradicional de alimentos con materiales sintéticos, por lo cual se hace necesario realizar estudios iniciales de tipo técnico. Para la caracterización de las biopelículas se utilizó análisis reológico dinámico y curvas de Creep ajustadas al modelo de Burgers. Todas las biopelículas estudiadas se comportaron como sistemas reológicos con características predominantemente elásticas. El comportamiento de los módulos dinámicos puede

ser un indicativo de la formación de redes interdependientes de la GG y el CPS. Por tanto, es posible utilizar estos materiales individualmente o en mezclas, para la obtención de biopelículas activas y recubrir diversos sistemas alimentarios sólidos.

Indagando un poco más sobre el tema Hernández, Kanavouras, Perry, Gavara, (2003), extrajeron gliadinas y gluteninas de trigo. Debido a la rigidez de las películas obtenidas, se estudió el efecto de la adición del glicerol como plastificante. Las películas obtenidas a partir de la fracción de glutenina presentan valores de resistencia a la tracción superior y menor alargamiento a la rotura y a la permeabilidad al vapor de agua que las de otro tipo de películas.

Compuestos como aldehídos tales como, entre ellos el glutaraldehído , o formaldehído se han utilizado para entrecruzamiento de proteína de soja, colágeno (Lieberman y Gilbert , 1973), la proteína de la semilla de algodón (Marquie et al, 1995), zeína de maíz (Parris y Coffin, 1997), aislado de proteína de girasol (Orliac et al, 2002) y las proteínas de suero de leche (Galietta, et al, 2001), mejorando así las propiedades mecánicas y de barrera de las películas biodegradables para el envasado de alimentos.

A partir de este efecto observado, Hernández, Villalobos, Chiralt, (2004), estudiaron el uso de agentes de entrecruzantes tales como glutaraldehido, glioxal y formaldehido para mejorar las propiedades mecánicas de películas a base de gluteninas. Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que los valores de permeabilidad al vapor de agua se redujeron alrededor del 30% cuando se incorporaron los entrecruzante y los valores más altos de resistencia a la tracción se obtuvieron utilizando el formaldehido, seguido de glutaraldehido y glioxal. También observaron que las películas tratadas con glutaraldehido y glioxal fueron más oscuras con un color amarillento. La adición de concentraciones de hasta 2 % de agente entrecruzante no modificó las propiedades mecánicas de las películas.

En el documento de Spruell, et al. (2011), se estudió la capacidad de producir materiales a partir de polímeros orgánicos solubles. Generalmente, el entrecruzamiento covalente de los conjuntos de polímeros se produce por la aplicación de calor o luz, para generar grupos altamente reactivos a partir de precursores estables colocados a lo largo de las cadenas. Estas se someten a reacciones

típicas, de injerto o de acoplamiento, estas estrategias sufren de una falta general de control de la química de entrecruzamiento. Por otro lado, también se ha explorado el entrecruzamiento vía enzimática como una nueva alternativa. La introducción de entrecruzamientos precisos en la red de proteínas puede reducir la porosidad de las partículas.

En otro estudio posterior Reddy y Yang, (2009) demostraron que el ácido cítrico puede entrecruzar el almidón y mejorar la resistencia a la tracción, estabilidad térmica y disminuir la disolución de las películas en agua y ácido fórmico. Las películas de almidón entrecruzado con ácido cítrico mostraron una mayor resistencia (150%) con respecto a las películas no entrecruzadas.

Los invetigadores Cordula y Kast, (2010) realizaron un estudio sobre el entrecruzamiento con formaldehído y los complejos proteicos combinados con la inmuno-precipitación y el análisis de espectrometría de masas, que es una técnica prometedora para analizar las interacciones proteína-proteína, incluidas las de naturaleza transitoria. En este utilizan la integrina como modelo para describir la aplicación de la reticulación de formaldehído en detalle, centrándose particularmente en los parámetros óptimos para la reticulación, la detección de complejos reticulados de formaldehído, la utilidad de los anticuerpos y la identificación de la unión fogonadura. En la integrina se encontró en un complejo de alto peso molecular después de la reticulación de formaldehído. Usaron ocho anticuerpos anti-integrina, y diferentes para los experimentos desplegables y no se observó pérdida en la eficacia de la precipitación después del entrecruzamiento. Sin embargo, dos de los anticuerpos no pudieron precipitar el complejo, probablemente debido a epítopos ocultos. Se encontró que los complejos reticulados de formaldehído, precipitados a partir de células Jurkat o plaquetas humanas y analizadas mediante espectrometría de masas, estaban compuestos por la integrina 1, 4 y 6 o 1, 6, 2 y 5, respectivamente.

Por otra parte, Héctor E. et al., (2016) habla sobre las resinas termoestables, modificadas químicamente con formaldehido, líquidas a temperatura ambiente y deben curar separa alcanzar el estado sólido. El curado es un proceso en el cual ocurren, a nivel molecular transformaciones químicas y estructurales: se forman estructuras entrecruzadas o reticuladas, lo cual puede

realizarse por distintos métodos siendo los más empleados; medios químicos a temperatura ambiente, calentamiento a temperaturas elevadas o radiaciones UV. Después del curado las resinas termoestables contienen una red molecular de enlaces altamente cruzados, por lo tanto, no se pueden volver a fundir sin degradarse. Los plásticos termostables más importantes son las resinas fenólicas, las cuales se forman por policondensación de fenol o análogos de este como cresoles o resorcina con formaldehído. Otras resinas importantes son las de urea, melanina, epoxídicas, poliésteres insaturados y poliuretano.

Respecto a estudios de mejora de propiedades mecánicas de películas a base de gliadinas, Faraz et al., (2014), realizaron un estudio, en el cual su objetivo evaluar el uso de polímeros y fibras vegetales para la producción de biocompuestos sostenibles. Por primera vez, se obtuvieron compuestos de gliadina y glutenina de gluten de trigo reforzado con plastificante / sin solvente y fibra de cáñamo mediante moldeo por compresión a diferentes temperaturas. El método de preparación de muestras sin plastificante / solvente desarrollado en este estudio facilitó el uso de una matriz proteínica con una estera de fibras de cáñamo orientadas al azar. Se investigaron las propiedades de reticulación por tracción y proteína, así como la biodegradabilidad. La adición de fibra de cáñamo a la matriz proteica aumentó el módulo E en 20 a 60% a 130 ºC. Un aumento en la temperatura de moldeo de 110 a 130 ºC provocó un aumento en el estrés máximo debido a la formación de enlaces intermoleculares entre las cadenas de proteínas. Los compuestos de gliadina tenían un módulo E más alto y un estrés máximo y mostraron un aumento mayor en la polimerización de proteínas con temperatura aumentada en comparación con los compuestos. Una comparación de las propiedades tensible reveló que los materiales compuestos eran más rígidos y más fuertes en comparación con varios composites biobasados producidos de forma similar. Los materiales compuestos se encontraron completamente biodegradables bajo un ambiente de suelo simulado después de 180 días. Se descubrió que los biocompuestos producidos en el presente estudio son respetuosos con el medio ambiente con propiedades mecánicas bastante buenas.

Por otra parte Joye et al., (2015) hablan sobre el gran interés que existe en convertir el gluten, un subproducto aislado del almidón de trigo, en un ingrediente alimenticio funcional de valor agregado. La insolubilidad del gluten monomérico, es decir, la gliadina, en el agua hace que estas

proteínas sean materiales interesantes para producir nanopartículas utilizando precipitación líquida antisolvente. Se investigó el efecto de diferentes parámetros de producción (tales como la velocidad de mezcla, el tiempo, los parámetros de sonicación, la concentración de gliadina) sobre las propiedades de las partículas de gliadina formadas por precipitación líquida de antidisolvente. Las partículas producidas también se endurecieron usando glutaraldehído (0-0.25%). La estabilidad de las partículas de gliadina producidas se investigó en diferentes condiciones de pH y sal relevantes para el procesamiento de alimentos y en tratamientos de temperatura a corto plazo y almacenamiento isotérmico a largo plazo. Se pudieron producir nanopartículas de gliadina (diámetro <200 nm), sin embargo, tenían poca estabilidad en diferentes condiciones relevantes para el procesamiento de alimentos: se redisolvieron por debajo de pH 4,0 y flocularon cerca de su punto isoeléctrico (pH ≈ 6,5), a niveles elevados de sal y después tratamiento térmico (T> 40 ° C durante 30 min). Se obtuvo una ligera mejora en la estabilidad de las partículas por endurecimiento químico (0,25% de glutaraldehído). Las nanopartículas de gliadina pueden ser útiles en el desarrollo de sistemas de administración para encapsular, proteger, seleccionar y liberar los ingredientes activos durante el procesamiento de los alimentos o después de la ingestión. Sin embargo, se deben explorar estrategias adicionales para estabilizar las partículas.

1.3 MARCO LEGAL

Los requisitos sanitarios que deben cumplir los envases o empaques, determinan que los materiales que se utilicen para su fabricación, que estén o puedan estar en contacto con los alimentos, no deben ceder al alimento constituyentes como metales, ni sustancias orgánicas como plastificantes, estabilizantes, pigmentos, solventes u otras sustancias que sean tóxicas o representen un riesgo para la salud pública.

1.3.1 Especificación técnica. Es un documento que surge como necesidad de una empresa, donde se especifican las características requeridas para un producto o servicio determinado. Se elabora sin la participación de terceros y su utilización está restringida al ámbito de la propia empresa y de sus proveedores.

1.3.2 Norma. Es una especificación técnica, científica o tecnológica que establece criterios con los que deben cumplir los productos, servicios y procesos de producción y que ha sido elaborada

y discutida en un organismo reconocido, mediante un proceso, en el cual pueden participar todos los interesados y cuya aplicación se hace de manera voluntaria porque es de conveniencia para los interesados.

1.3.3 Reglamento técnico. Es un documento técnico de aplicación obligatoria a través de una disposición legal del Estado. El Reglamento puede ser el fruto de una elaboración específica por parte de una autoridad pública o puede hacerse basándose total o parcialmente en normas ya establecidas a través de organismos de Normalización reconocidos o haciendo referencia a esas normas.

1.3.4 Certificación. La certificación tiene por objeto asegurar que un producto o servicio cumple con determinadas Normas o Reglamento Técnico.

Algunas legislaciones en el área de materiales y envases para alimentos:

1.3.5 Legislación Americana (FDA). Los materiales en contacto con alimentos en Estados Unidos de Norteamérica, están sujetos a las regulaciones de control del Code of Federal Regulations de la Food and Drug Administration (FDA). Las regulaciones de aditivos alimentarios están en la forma de listas positivas publicadas en el Título 21 de la U.S. Code of Federal Regulations (CFR). Los diversos materiales en contacto con alimentos son tratados como aditivos indirectos. Los métodos de ensayo para diferentes test de migración se detallan en la regulación, hay que recalcar que los límites de migración total y específica no son los mismos que en las legislaciones de otros países.

2. METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN

La metodología propuesta para abordar cada uno de los objetivos se muestra a continuación y está basada en la metodología descrita por Hernández- Muñoz (2004):

2.1 Preparación de las películas

Se obtuvieron películas de gliadinas por la técnica extensión-evaporación ("casting").

- Para la preparación de las películas se adicionaron 100 g de gluten a 400 ml de solución hidroalcohólica al 70% (v/v), manteniendo la mezcla en agitación a 20 ºC durante 24 horas en cámara de temperatura controlada.
- Se centrifugo a 5000 rpm durante 20 min. El sobrenadante resultante, consistente en la fracción rica en gliadinas, se separó por decantación, se añadió glicerol al 25% (g/100 g proteína).
- Posteriormente se adicionó el entrecruzante formaldehído (FA) 4% y 8% de agente entrecruzante /100 g de proteína a 23 ºC, y pH 5, durante 12 h bajo agitación suave.
- Se adicionó 60 gramos de solución formadora de película en una bandeja horizontal plana de teflón de 30 x 30 cm, dejando evaporar la mezcla agua etanol a 23 ºC con un 50 % de humedad relativa durante 10 horas.
- Las películas formadas se separaron y se reacondicionaron a 23 ºC a 50 % de humedad relativa por 72 horas para su posterior análisis.
- Para la película sin entrecruzar se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente, sin la adición de entrecruzante formaldehído y agente entrecruzante.

2.2 Caracterización de las propiedades de las películas

Para la caracterización de las películas de gliadinas y obtenidas por "casting" se determinaron:

- Medidas de espesor
- Propiedades ópticas (color).
- Pérdida de peso o absorción en agua.
- Permeabilidad al vapor de agua.

- Propiedades mecánicas.

2.2.1 Medida de espesor

El espesor se midió con un micrómetro de 0-25 mm con una precisión de +0,001 mm.

2.2.2 Color

Esta prueba fue realizada en la universidad de la Salle sede centro, y el color de las películas se determinó con un colorímetro portátil Minolta® Chroma Meter CR300. Las muestras se colocan sobre un plato blanco estándar, obteniendo los resultados en el espacio CIE L*a*b y utilizando como referencia observadora 10º e iluminante D65. Se medirá L*(Luminosidad), a*(componente rojo-verde) y b*(componente amarillo-azul). También se determinará la saturación (chroma, $C^* = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$) y el tono (hue angle, $H^* = \text{arctg}\ (b^*/a^*)$), a partir de las coordenadas de color *CIEL*a* b**. Las muestras se midieron por triplicado, realizando ocho medidas en posiciones diferentes de cada muestra de película (Hernandez-Muñoz et al., 2004).

Figura 2. Sistema de color tridimensional que muestra la luminosidad

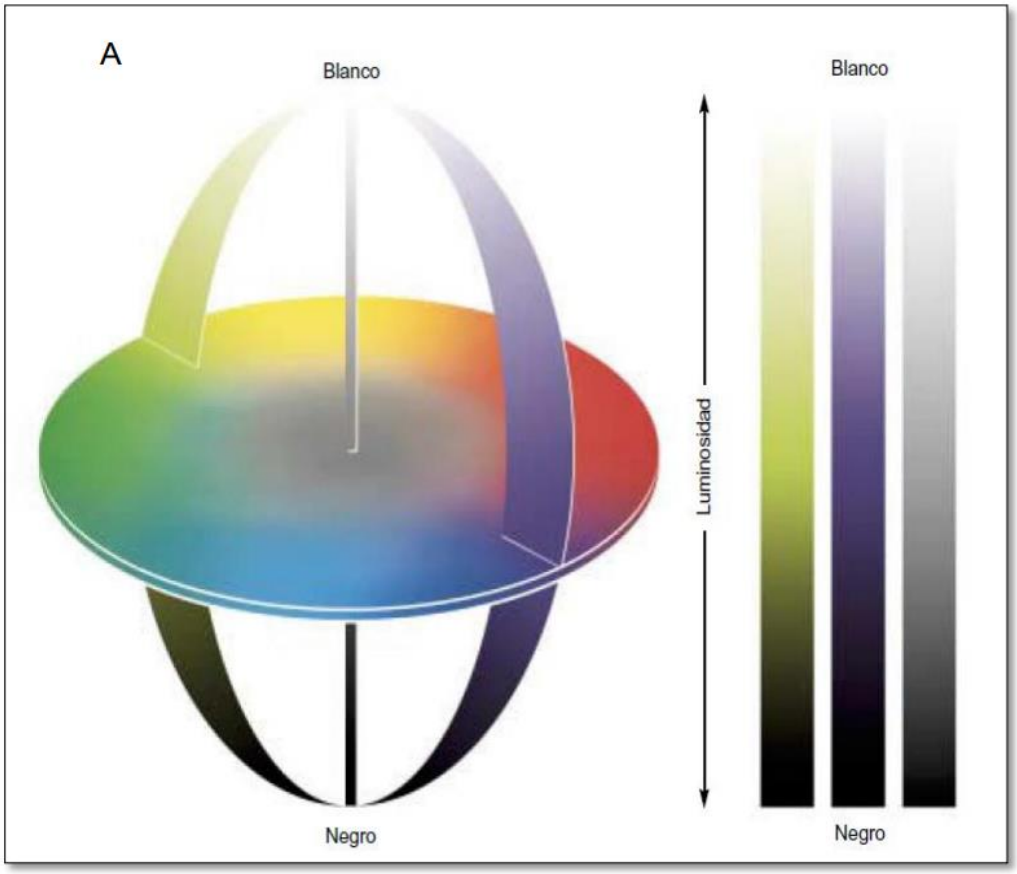
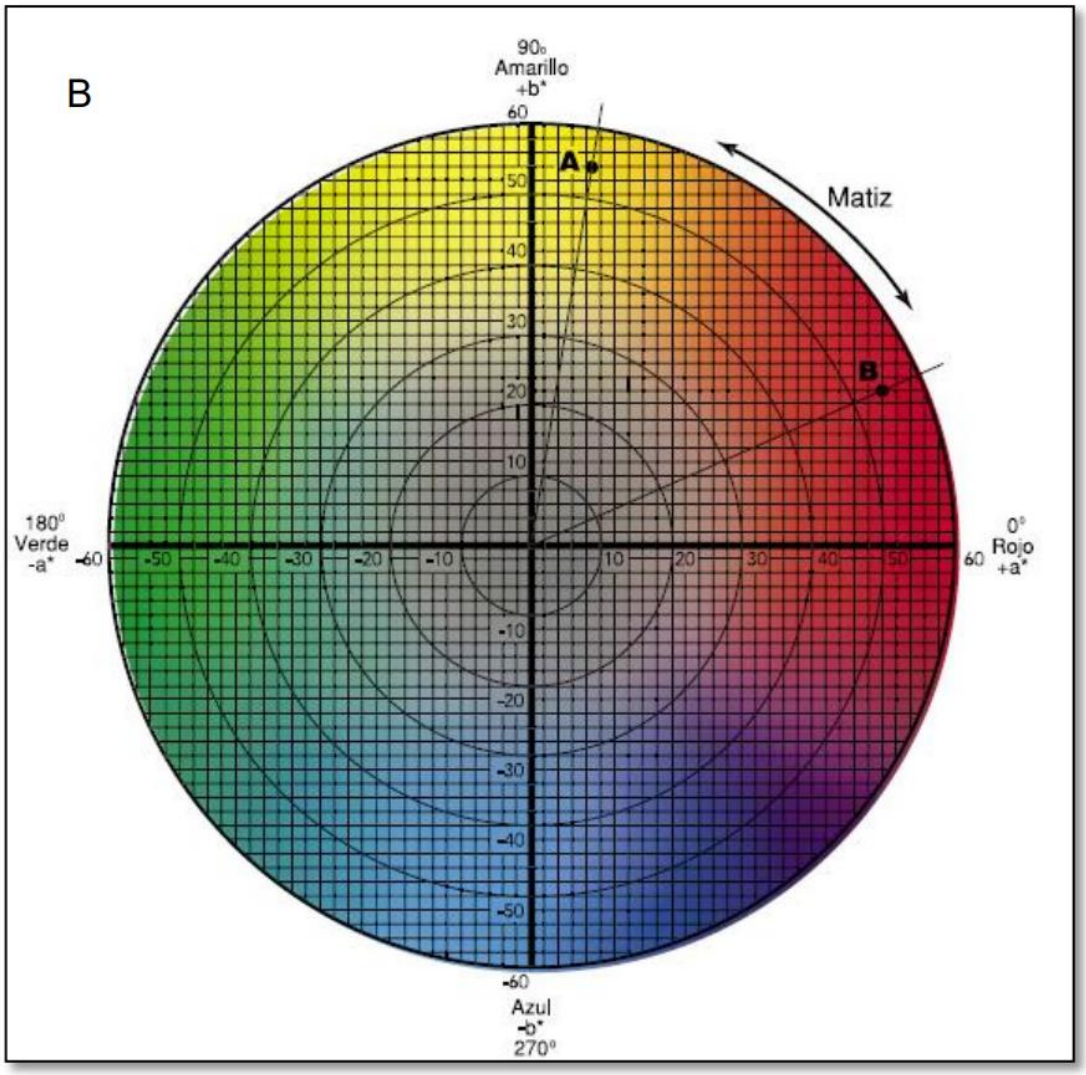


Figura 3. Esquema de las coordenadas de color (CIELAB)



2.2.3 pérdida de peso o absorción de agua

Esta prueba se realizó en la universidad de la Salle sede candelaria, Bogotá, Colombia, en donde se determinó la pérdida de peso tomando datos cada hora durante 10 horas hasta peso constante.

2.2.4 Permeabilidad al vapor de agua

La determinación de permeabilidad al vapor de agua se realizó en la universidad de la Salle según la metodología planteada por Fabian Rico (2013). Que, para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua, la película fue colocada en la boca de tubos de ensayo llenos con sílica gel y colocados en un desecador con agua destilada en el fondo (100% RH; 2,34 kPa presión de vapor a 20 °C) los tubos fueron pesados a intervalos de 1 hora durante 10 horas a temperatura constante de 20°C. La permeabilidad al vapor de agua se calculó según la siguiente ecuación:

$$WVP = \frac{\Delta m}{t \times A \times P_{\circ}} \times L$$

Donde WVP es la permeabilidad del vapor de agua en $g.mm.m^{-2}.h^{-1}.\ kPa^{-1}$; Δm es la variación del peso de la sílica gel en g; t es la variación del tiempo en h; A es el área expuesta de las películas en m2 y Po es la presión parcial de vapor de agua a 20°C.

2.2.5 Propiedades mecánicas

Esta prueba se realizó en la universidad de la Salle sede candelaria, Bogotá, Colombia, en donde se determinó la resistencia de tracción a rotura (TS) y el porcentaje de elongación en la rotura (PE) de las películas, de acuerdo al método estándar D882 (ASTM, 1995) haciendo uso de una máquina universal de ensayos. Las muestras (10 por cada formulación) se cortarán en tiras de 2,54 cm de ancho y 13 cm de longitud. Posteriormente, las muestras de cada formulación se acondicionaron a 50% de humedad relativa, a una temperatura de 25 ºC. Antes del ensayo de tensión se determinó el espesor de las películas en distintos puntos y se calculó el promedio del mismo. Las películas fueron colocadas en pinzas para ensayos de tensión. La separación inicial de las pinzas y la velocidad de elongación de las películas serán de 100 mm y 25 $mm \cdot min^{-1}$, respectivamente (Hernández-Muñoz et al., 2004). Las curvas fuerza-elongación que se obtuvieron del ensayo se transformaron en curvas de tensión (σ)-deformación (ε) (ecuaciones 4 y 5).

$$\sigma(t) = \frac{F(t)}{S} = \frac{F(t)}{b \cdot h} \qquad (4)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{l(t)}{L_0} \cdot 100 \qquad (5)$$

Donde L_0 es la distancia inicial entre pinzas (mm), *l(t)* la elongación de la muestra en cada tiempo (mm), *b, h y S* son la base (mm), la altura (o espesor) (mm) y área (mm^2) de la sección transversal de la muestra. *F(t)* es la fuerza de tracción en cada tiempo (N).

De cada curva de esfuerzo (σ)-deformación (ε) se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Módulo de elasticidad o módulo de Young (pendiente de la zona lineal de la curva), expresado en N.
- Resistencia de tracción a rotura, expresado en MPa.
- Elongación hasta el punto de fractura, expresado en porcentaje.

2.3 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño de experimental multifactorial categórico con dos factores: agente entrecruzante formaldehído con concentración (4 y 8 g/100 g). El análisis estadístico de los resultados obtenidos se llevará a cabo mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Se calcularon las diferencias mínimas significativas (LSD) con un nivel de significación $p \leq 0.05$. Para ello, se empleará el programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.1 (Manugistics, Inc., Rockville, MD, EE. UU).

Tabla 1. Diseño experimental para la evaluación de los recubrimientos entrecruzados

Tratamiento	determinación	muestras por determinación
T0 (patrón 0 %)	espesor	3
	color	3
	permeabilidad	3
	pérdida de peso	3
	resistencia a la tensión	3
	elongación	3
	módulo de elasticidad	3
T1 (tratamiento 4%)	espesor	3
	color	3
	permeabilidad	3
	pérdida de peso	3
	resistencia a la tensión	3
	elongación	3

	módulo de elasticidad	**3**
T2 (tratamiento 8%)	**espesor**	**3**
	color	**3**
	permeabilidad	**3**
	pérdida de peso	**3**
	resistencia a la tensión	**3**
	elongación	**3**
	módulo de elasticidad	**3**

HIPOTESIS

- Hipótesis nula (Ho):

No hay diferencias significativas entre los tratamientos, por lo tanto, no se modifican las propiedades físicas con el uso del entrecruzante.

- Hipótesis alterna (H1):

Si hay diferencias significativas entre los tratamientos, por lo tanto, se modifican las propiedades físicas con el uso del entrecruzante.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Determinación del espesor

Tabla 2. Espesor (mm) de las películas

Tratamiento	Espesor (mm)
T0	$0{,}115 \pm 0{,}014_b$
T1	$0{,}085 \pm 0{,}010_b$
T2	$0{,}056 \pm 0{,}027_a$

*Valores promedio ± desviación estándar con n=3 y tamaño por muestra de 10 x 10 cm. Filas con letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre muestras.

Los datos del espesor se ajustaron con el modelo minitab ($p<0{,}05$). El espesor de las películas obtenidas descritas en la tabla 2, fue de 0,115 ± 0,014 mm para T0 0,085 ± 0,010 para T1 y 0,056 ± 0,027 para T2. Este resultado se obtuvo para cada determinación de las películas, tratando de evaluar la influencia de las variables sobre el espesor resultante en las películas. La determinación de espesor fue utilizada para comparar el efecto que tiene el entrecruzante sobre el espesor de las películas. El tratamiento T1 y T0 no poseen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, las películas basadas únicamente en gliadina fueron más gruesas que películas con adición de entrecruzante cada vez mayor (Muñoz et al., 2012). El ANOVA del espesor (anexo1), puso de manifiesto que la concentración de entrecruzante influyó significativamente sobre el espesor ($P<0{,}05$), siendo el tratamiento T2 con el menor espesor y con valores significativamente diferentes a los de los demás tratamientos. La tabla 2 presenta los datos completos del espesor, donde se observa el comportamiento del espesor de las películas sin entrecruzar frente a las diferentes concentraciones de entrecruzante. Allí se observa que el espesor disminuye al incrementar la concentración de entrecruzante. Además se puede observar que utilizando alta concentración de formaldehido se pueden producir películas más delgadas.

Algunos autores observaron el incremento del espesor con el incremento de la concentración de proteína en películas (Gounga, Xu, y Wang, 2007; Kokoszka et al., 2010). Denavi et al. (2009) en su trabajo observaron que la fuente de proteína influye sobre el espesor de las películas, por ejemplo, con la misma concentración de proteína, soluciones filmogénicas de gel dieron lugar

a películas más gruesas (86 ± 11 mm) que las hechas con aislado proteico (47 ± 10 mm). Indicando un menor grado de compactación de las películas de gel, y en consecuencia sugiriendo, un diferente grado de desdoblamiento molecular o reticulación dentro de la red proteica de la película. La influencia del peso molecular del plastificante sobre el espesor de las películas fue observado cuando se utilizó polietilenglicol en películas, tendiendo a incrementarse el espesor con el peso molecular (Cao et al., 2009).

Schou et al., (2005) observaron que el contenido de plastificante no influyó significativamente sobre el espesor de películas de caseinato de sodio pero sí sobre la humedad de las películas, concluyendo que el incremento de agua no condujo a la expansión de la estructura proteica, o el incremento no pudo ser detectado por la tecnología usada. El mismo resultado fue observado en películas de keratina (Martelli et al., 2006). Gounga et al., (2007) observaron un ligero incremento del espesor con la concentración de aislado proteico de lactosuero, pero no fue significativo. Jangchud y Chinnan, (1999) observaron que el espesor de películas hechas de proteína vegetal se incrementó con la humedad relativa imperante en el medio. Lo mismo fue observado en películas hechas con aislado proteico de lactosuero (Anker et al., 1999). Este fenómeno se explica de acuerdo a la ciencia clásica de polímeros, que asevera que el agua y los plastificantes debilitan las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de macromoléculas adyacentes, incrementando el volumen libre de la estructura (Jastrzebski, 1987). Lo anterior nos indica que el formaldehido si ejerció una diferencia notable en cada una de las concentraciones usadas para el estudio, ya que el formaldehído contiene un solo grupo funcional, puede reaccionar bifuncionalmente y por lo tanto entrecruzar. El formaldehído es también uno de los fijadores más utilizados, y sirve para estabilizar los detalles estructurales de las películas (Herdon et al., 2005).

La determinación del espesor de las películas comestibles es de gran importancia ya que afecta las propiedades mecánicas y la permeabilidad, esto puede indicar que el entrecruzante mejora la relación entre la red polimérica formada y la haga más compacta lo cual se ve reflejado en el aumento de la densidad de la película y en la disminución del volumen de la película, o también por la cantidad de agua retenida por la proteína en la película, por ende, el espesor sea mucho menor y poder obtener una película mucho más delgada.

3.2 Determinación de color

En la tabla 3 se presentan los parámetros de color de los tratamientos.

Tabla 3. Colorimetría de las películas obtenidas

Tratamiento	Coordenadas espaciales				
	L*	**a***	**b***	**C***	**H***
T0	62,560 ± 2,140$_a$	0,185 ± 0,261$_a$	6,120 ± 0,622$_a$	6,145 ± 0,643$_a$	85,120 ± 1,626$_a$
T1	73,300 ± 1,484$_a$	-0,265 ± 0,106$_a$	6,570 ± 3,059$_a$	6,580 ± 0,149$_a$	92,510 ± 1,506$_a$
T2	76,050 ± 0,070$_a$	-0,050 ± 0,014$_a$	3,490 ± 0,155$_b$	3,490 ± 0,155$_b$	90,880 ± 0,254$_a$

*Valores promedio ± desviación estándar con n=3 y tamaño por muestra de 10 x 10 cm. Filas con letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre muestras.

Luminosidad (L*) los valores de luminosidad (L*) de las películas elaboradas en este trabajo se encuentran en el rango de 62,560 -76,050 como se muestra en la Tabla 3. El ANOVA para la luminosidad (anexo2) pone de manifiesto que los dos factores no ejercen influencia significativa sobre la luminosidad de las películas (P<0,05). El comportamiento de L* en función de las concentraciones de entrecruzante. A medida que la concentración de entrecruzante aumenta, la opacidad es cada vez mayor hasta alcanzar un máximo, lo cual no produce colores claros, independientemente de la concentración de entrecruzante como se observa en los tratamientos T1 y T2. El incremento de la luminosidad con el contenido de plastificante también fue observado para películas hechas de harina de mostaza (Hendrix et al., 2012) y de harina de soya desgrasada (Lee y Min, 2013). El incremento de la opacidad y la disminución en la luminosidad como consecuencia del aumento de la concentración de entrecruzante es notoriamente visible para películas compuestas de aislado proteico de soya (Denavi et al., 2009) en las que la luminosidad aumentó a medida que la proporción de APS se incrementó.

Componente Rojo - Verde (a*) los valores del componente Rojo - Verde (a*) de las películas elaboradas en este trabajo se encuentran en el rango de (-0,050) - (+0,185) tal como se muestra en la Tabla 3. El análisis estadístico de ajuste de la variable a* pone de manifiesto que ningún modelo es significativo. La cercanía de este valor a cero sugiere que las películas entrecruzadas no poseen tonalidades rojas o verdes. Este resultado da a entender que la concentración entrecruzante no influyó sobre el parámetro a*, dentro del rango estudiado. Resultado similar fue

observado en películas de gel o aislado proteico de soya (Denavi et al., 2009), concentrado proteico de ricino-glioxal (Makishi et al., 2013) y concentrado proteico de soya (Ciannamea et al., 2014). No obstante, para películas de harina de soya desengrasada-Sistema lactoperoxidasa (Lee y Min, 2013) se observó que un aumento en la concentración de glicerol disminuye el parámetro a*, y la gliadina al ser un derivado proteico tambien se puede ver afectara por el glicerol en este parámetro.

Componente azul - amarillo (b*) los valores del componente azul - amarillo (b*) de las películas elaboradas en este trabajo se encuentran en el rango de 3,490 - 6,580, tal como se muestra en la Tabla 3. Los valores b* en todos los tratamientos son positivos por lo que el color de las películas tienden hacia tonalidades amarillas. El ANOVA del parámetro b* revela que la adicion de entrecruzante ejerce influencia significativa sobre el parámetro b* de las películas ($P<0,05$), de modo que, a medida que la concentración de entrecruzante aumenta, la película producida es menos amarilla, luego del cual las películas llegan a ser menos amarillas casi independientemente de la concentración de proteína (dentro del rango estudiado).

La saturación del color (C*) y valor H* para las películas formuladas con el formaldehido presentan diferencias significativas por el incremento en las concentraciones de este entrecruzante, en la cual se puede observar que en el tratamiento T2 hay una mayor saturación del color. Todas las formulaciones exhibieron un color amarillento, representado por los valores a 90 º en el ángulo de matriz (Hue). Los valores obtenidos favorecen el uso en posteriores aplicaciones a frutas o verduras ya que se busca que el recubrimiento no interfiera de manera significativa en los atributos de color, esto debe ser tenido en cuenta, ya que, según dice Rico (2013), las propiedades ópticas son muy importantes cuando se relacionan con el grado de aceptación que tenga el recubrimiento ante los consumidores, porque variando alguno de los parámetros del producto, también puede variar la percepción que tengan los consumidores sobre el producto.

3.3 Determinación de la pérdida de peso

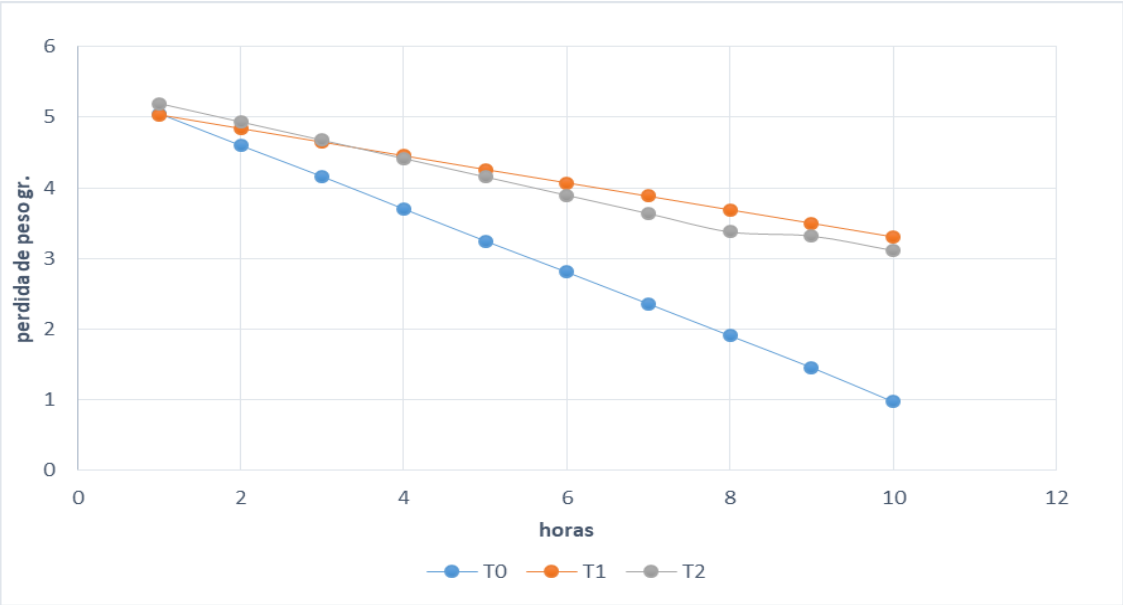
El porcentaje obtenido en cada determinación se muestra en la figura 4, en donde se ve reflejado como al aumentar la cantidad de entrecruzante, el porcentaje de pérdida de peso disminuye. La

capacidad de pérdida de peso se calcula como un porcentaje de agua perdida con respecto a la masa de la muestra inicial mediante la siguiente formula:

$$Capacidad\ de\ perdida\ de\ peso\ \% = \frac{m1 - m2}{m1}$$

Sobre la capacidad de absorción de agua y la pérdida de peso de las películas proteicas obtenidas a partir de la gliadina, la relación pérdida de peso y absorción de agua son directamente proporcionales. En la figura 4 observamos que en el tratamiento T0 hay una mayor pérdida de peso con un porcentaje final de 80,370% ± 0,638, pero en el tratamiento T1 se observa como comienza a descender el porcentaje con respecto a la muestra inicial 65,434% ± 0,420, T2 tiene un porcentaje considerablemente menor que las muestras anteriores 59,941% ± 0,811, lo que nos indica que la red polimérica mejora considerablemente con la adición del formaldehido, haciéndola más estable entre sus enlaces y evitando asi que haya menor adsorción de agua en la película, la capacidad de pérdida de peso o absorción de agua de la película combinada o mixta une las ventajas de ambos compuestos (formaldehido y gliadina), formando una película con una buena barrera al vapor de agua, proporcionada por el entrecruzante, ya que entre mayor sea la adición de entrecruzante su elongación será mucho menor. También el contenido de gliadina presente en la película hace que esta absorba agua y cambien por consiguiente sus propiedades mecánicas, físicas y estructurales, por eso es necesario un agente como barrera, por eso se refleja que al realizar la adición del formaldehido, la pérdida de peso disminuye considerablemente.

Figura 4. Pérdida de peso



La figura 4 manifiesta una correlación entre el contenido de humedad de las películas y las concentraciones de entrecruzante. Lo que significaría que estas variables influyeron significativamente sobre el contenido de humedad de las películas. Sin embargo, otros autores evidenciaron incrementos del contenido de humedad con la concentración de plastificantes como el glicerol, polipropilenglicol, etilenglicol y dietilenglicol (Ciannamea et al., 2014; Kowalczyk y Baraniak, 2011; Vanin et al., 2005; Schou et al., 2005), el efecto del contenido de proteína sobre el contenido de humedad, fue reportado por Makishi et al., (2013), quienes reportaron que ni la concentración de proteína ni el tipo agente, presentaron efectos significativos sobre la humedad de las películas hechas a base de otro tipo de proteínas. No obstante, el efecto del tipo de proteína sobre el contenido de humedad sí fue reportado en varios trabajos de investigación. La variabilidad del contenido de humedad de las películas entrecruzadas es importante desde el punto de vista tecnológico, ya que cualquier diferencia en el contenido de humedad podría afectar las propiedades físicas del material, debido al fuerte efecto plastificante de la molécula de agua sobre los biopolímeros (Sobral et al., 2001).

Es sabido que el glicerol debido a su carácter higroscópico y elevada solubilidad en agua, se pierde rápidamente tras la inmersión de la película en agua (Hernández Muñoz et al., 2003). En su investigacion, Hernández - Muñoz (2004) obtienen películas que en su gran mayoría se ven afectadas en la absorción de agua, pero este parámetro varía considerablemente dependiendo de la temperatura, dado el carácter insoluble de las gliadinas en agua, la pérdida de peso en las películas implica que las cadenas polipeptídicas migran de la matriz al medio, pero no se solubilizan. La adición del entrecruzante aumenta el número de enlaces, por lo cual se obtiene una red más reticulada y, por tanto, mayor será su resistencia al hinchamiento en agua debido a una restricción en la relajación de las cadenas impuesta por los nuevos enlaces intermoleculares formados. Por otro lado, menor será el porcentaje de cadenas polipeptídicas de bajo peso molecular que puedan desprenderse de la matriz al sumergirla en agua.

3.4 Determinación de permeabilidad al vapor de agua.

En la tabla 4 se muestran los valores obtenidos de permeabilidad de vapor de agua, para T0 se obtuvo un valor de 8,206 ± 0,335, para T1 5,357 ± 0,260 y para T2 3,468 ± 0,455, donde se observa que el incremento en la adición del entrecruzante afecta la permeabilidad, probablemente

por un mayor grado entrecruzamiento de la cadena polimérica. La interacción de los componentes tanto hidrófilos como hidrofóbicos, formaron una distribución homogénea de la emulsión múltiple, generando trayectos de difusividad cortos y de dificil penetración de las moléculas de vapor de agua, disminuyendo la permeabilidad (Bósquez. 2003, Reyes. 2013). El seguimiento realizado a la permeabilidad al vapor de agua de las películas con la adición de entrecruzante resultó de gran importancia puesto que permite establecer si la adición del entrecruzante presenta una incidencia considerable en este factor, motivo por el cual se hace necesaria la adición de un material que le confiera cierta hidrofobicidad a la película disminuyendo así la permeabilidad.

Tabla 4. Permeabilidad al vapor de agua de las películas

Tratamiento	**Permeabilidad al vapor de agua ($g.mm.m^{-2}.h^{-1}.kPa^{-1}$)**
T0	$8,206 \pm 0,335_a$
T1	$5,357 \pm 0,260_b$
T2	$3,468 \pm 0,455_c$

*Valores promedio ± desviación estándar con n=3, toma de datos cada hora durante 10 horas y un tamaño por muestra de 1 x 1cm, Filas con letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre muestras.

Las películas mostraron según ANOVA diferencias significativas ($P<0,05$) entre el control y los tratamientos de las películas a base de gliadina con diversas concentraciones de formaldehido, lo cual indica que la concentración de formaldehido es un factor que influye en el valor de permeabilidad, ya que a una concentración mayor del entrecruzante la permeabilidad es mucho menor, puesto que persiste la movilidad entre las cadenas por la adición del formaldehido, la permeación es producida a través de las zonas amorfas de la película, que se van cristalizando por efectos de agrupación molecular (Mali et al. 2004). La permeabilidad al vapor de agua es un fenómeno acoplado de sorción y difusión, por lo que cabría pensar que a mayor grado de entrecruzamiento de la matriz polimérica mayor es la dificultad del camino recorrido por las moléculas de agua a través de la matriz polimérica, lo cual haría disminuir la permeabilidad. El carácter hidrófilo de las moléculas de gliadina puede ser la causa del aumento de la permeabilidad en películas sin entrecruzar, esto debido a que la gliadina posee gran afinidad por las moléculas de agua. La permeabilidad se ve afectada por el espesor, puesto que las películas a base de componentes hidrofílicos como la gliadina, presentan fenómenos de transporte complejos

(Bertuzzi, et al., 2007). La permeabilidad de películas hidrofílicas a base de gliadinas, son directamente proporcionales al espesor, en tanto que el uso de polímeros sintéticos no exhibe efecto del espesor sobre la permeabilidad, sin embargo, las películas hidrofílicas no presentan un comportamiento ideal, indicando que la película estaría actuando como una barrera simple (Bertuzzi, et al., 2007).

La permeabilidad al vapor de agua es una propiedad ampliamente estudiada, debido a la importancia del agua en las reacciones de deterioro (Carneiro-da Cunha, 2009), además está directamente relacionada con la composición y espesor de la película (Reyes, 2013). En relación a la composición de las películas, la gliadina como agente dispersante en la formulación cuenta con una alta permeabilidad, el formaldehido como agente entrecruzante en la formulación arroja una baja permeabilidad al vapor de agua, a medida que la concentración de dicho compuesto aumenta, por ende, se realiza la inclusión de dicho entrecruzante para minimizar la permeabilidad. Según Guarda et. al., (2001). La permeabilidad es el proceso de transferencia de masa y/ o energía en el cual se produce el paso de moléculas a través del material polimérico. Este proceso por tanto puede ser descrito por dos mecanismos, por un lado, el flujo capilar, que implica el paso de moléculas a través de poros o bien defectos propios del material de envase, y el proceso de permeabilidad por difusión.

3.5 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se realizaron a las películas, obteniendo los siguientes resultados,

Tabla 5. Propiedades mecánicas de las películas con y sin adición de entrecruzante

Tratamiento	**TS MPa (Resistencia a la tensión)**	**Elongación (%) (%E)**	**Módulo de elasticidad (N)**
T0	$3{,}570 \pm 0{,}633_a$	$54{,}481 \pm 3{,}466_a$	$2{,}643 \pm 0{,}042_a$
T1	$12{,}804 \pm 0{,}350_b$	$21{,}183 \pm 1{,}861_b$	$4{,}245 \pm 0{,}021_b$
T2	$20{,}396 \pm 1{,}362_c$	$10{,}190 \pm 1{,}517_c$	$8{,}255 \pm 0{,}445_c$

*Valores promedio ± desviación estándar con n=3. 2,54 cm de ancho y 13 cm de longitud 1cm, Filas con letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre muestras.

Resistencia a la tensión (TS) Analizando la tabla de análisis de la varianza (ANOVA) se observa que a mayor cantidad de entrecruzante tiene efecto significativo en la TS, lo que implica que esta, varía de acuerdo a la presencia o ausencia de entrecruzante en la muestra. Al realizar la prueba de comparaciones múltiples (Tukey) anexo 6, se observó, que si se compara la TS de las películas, hay diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos lo cual nos da a entender que la formulación influye directamente en la TS. En promedio se registró mayor TS en el tratamiento T2, seguido del tratamiento T1 y del T0, tabla 5, con valores promedio de 20,396 MPa, 12,804 MPa y 3,570 MPa respectivamente. En cuanto al esfuerzo de tracción, es la capacidad de un material para resistir la ruptura bajo un esfuerzo de tracción (Carneiro-da-Cunha, 2009). La adición de entrecruzante tiene un efecto lineal directamente proporcional sobre la TS. Se observa que los valores de TS tienen un incremento con respecto al aumento de la concentración del entrecruzante, indicando que la presencia del formaldehido mejoró la TS de las películas; este efecto coincide con lo reportado (Hernández Muñoz et al., 2003).

Porcentaje de elongación (% E) En los resultados del análisis de la prueba de comparaciones múltiples (Tukey), mostró que el % E de las películas presentan diferencias significativas, lo que significa que en promedio el % E de las películas varía según la concentración de entrecruzante adicionado ($p>0,05$). En lo que respecta a la formulación empleada para obtener las películas y su efecto en el %E, se observó que, la formulación genera en promedio valores de %E diferentes ($p<0,05$).

Como él % E de los materiales poliméricos depende de la flexibilidad de la cadena molecular y teniendo en cuenta que durante el procedimiento para la obtención de las películas, la proteína se sometió a tratamiento térmico y agitación mecánica durante la etapa de gelificación; esto ocasionó que la estructura de la proteína destruyera y se formara una estructura nueva de carácter amorfo. Este cambio de estructura favoreció la impregnación del glicerol en la matriz lo que disminuyó las interacciones, tanto intra como intermoleculares entre las moléculas de proteína, debido a la formación de puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilo de las macromoléculas de proteína y el glicerol (Rodríguez, 2013). Este fenómeno contribuye a un reordenamiento de las cadenas proteicas que causa el incremento de la flexibilidad de las películas. Los porcentajes de elongación tabla 5, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P< 0,05$)

entre los tratamientos, aunque el control presenta valores menores, revelando que la gliadina por sí sola no genera efectos sobre el porcentaje de elongación de las películas y por ende al aumentar la rigidez de la película disminuye su elongación, efecto que puede ser generado al adicionar el entrecruzante. Al procesar la matriz proteica con el formaldehido se promueve su entrecruzamiento, lo que da lugar a la obtención de un material más duro y resistente, con una composición elástica más importante y una merma en su extensibilidad. De acuerdo a la literatura, el formaldehido es usado en las películas para aumentar su flexibilidad, aumentando el porcentaje de elongación y disminuyendo el esfuerzo a la tracción, esto se debe a que las moléculas del plastificante disminuyen la interacción molecular, aumentando la movilidad del polímero, asimismo el efecto de la proteína disminuye la flexibilidad y aumenta la fragilidad de las película (Chiumarelli y Hubinger, 2012), esto se puede evidencia en el tratamiento T2 el cual cuenta con una menor elongación, teniendo en cuenta que las propiedades mecánicas dan información de la capacidad de mantener la integridad mecánica de los alimentos (Sothornvit & Krochta, 2005), esto con el fin de garantizar que el recubrimiento al ser usado en alimentos, garantice protección, el recubrimiento tiene que poseer cierto grado de resistencia mecánica, en particular al alongarse. Por lo general películas con espesor mayor mejora su resistencia mecánica, en el tratamiento T0 y T1 observamos que la resistencia a la tensión y elongación son inversamente proporcionales a los valores obtenidos con el tratamiento T2.

CONCLUSIONES

La adición del agente de entrecruzamiento en la formulación de películas a base de gliadinas, generó diferencias significativas en la resistencia a la tensión de las películas, presentando valores de 12,804 Mpa, 20,396 Mpa y 3,570 Mpa, para las dispersiones con adición de 4%, 8% y control respectivamente. Este comportamiento se debe principalmente a que el agente entrecruzante forma puentes de unión entre las moléculas poliméricas, capaces de formar entrecruzamientos iónicos. Por otra parte, se presentaron diferencias significativas en el porcentaje de elongación entre los tratamientos, con valores de 21,183%, 10,190% y 54,481%, para las dispersiones con adición de 4%, 8% y control respectivamente, de igual manera en el módulo de elasticidad se evidencia que con el incremento de entrecruzante, se generan diferencias entre los tratamientos adicionados, 4% (4,245 N), 8% (8,255 N) y el control (2,643 N). En cuanto al espesor, el tratamiento control presentó un mayor espesor, en relacion a las películas con adición de entrecruzante. Sin embargo, el espesor no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de 4% (0,085 mm), 8% (0,056 mm) y (0,115 mm) para el control. El color de las películas estuvo afectado por la inclusión del agente entrecruzante al aumentar la concentración, como se evidencia en los tratamientos de 4% (73,300 L*, a* -0,265 b* 6,750, C* 6,580 y h* 92,510) y 8% (76,050 para el valor L*, a* -0,050, b* 3,490, C* 3,490 y h* 90,880), frente al control (62,560 L*, a* 0,185 b* 6,120, C* 6,145 y h* 85,120), no presentando diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, en general la opacidad incrementó y la luminosidad disminuyó en los tratamientos con formaldehido en comparación al control. Respecto a la permeabilidad de vapor de agua, las películas con incorporación de entrecruzante, 4% (5,357206 $g.mm.m^{-2}.h^{-1}.\ kPa^{-1}$) y 8% (3,468206 $g.mm.m^{-2}.h^{-1}.\ kPa^{-1}$), son menos permeables y disminuye su hinchamiento, en comparación al control (8,206 $g.mm.m^{-2}.h^{-1}.\ kPa^{-1}$), en la pérdida de peso se observa la disminución porcentual en los tratamientos a medida que se aumenta la concentración, en 4% (65,434%), 8% (59,941%) y el control con la mayor pérdida de peso (80,370%), puesto que conforme aumenta la concentración del entrecruzante en la formulación, aumenta la resistencia mecánica y al agua de las películas en comparación a las películas sin entrecruzar.

De acuerdo a los resultados, se presume que la proteína adicionada con formaldehido podría ser utilizada para la formulación de envases biodegradables, debido a que en gran parte hay una

relacion directa en la estabilidad y funcionalidad del polímero. Las películas obtenidas con la adición de formaldehido 4 y 8%, presentaron características físicas mejores que las películas sin entrecruzar, puesto que la adición de entrecruzante generó cambios significativos en los parámetros medidos, estableciendo así, que el efecto entrecruzante del formaldehido favorece o potencia las propiedades medidas en las películas obtenidas. En relacion a las propiedades físicas, las concentraciones desarrolladas para la formación de películas a base de gliadinas, con la incorporación de formaldehido, dieron como resultado películas delgadas con valores de 0,085 mm, 0,056 mm y 0,115 mm para las dispersiones con adición de 4%, 8% y control respectivamente, lisas, con una buena adhesión, cohesión y resistencia a la ruptura.

RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de la permeabilidad por un periodo de tiempo mayor a 10 horas, con el fin de ver el comportamiento de la película.

- Hacer un análisis de comportamiento de la gliadina y el entrecruzante para determinar el grado de aceptabilidad de estos biopolímeros.

- Realizar una comparación con otros entrecruzantes para profundizar la investigación en la incorporación de otros agentes entrecruzantes y evaluar la estabilidad con relación al tiempo de almacenamiento.

- Evaluar la permeabilidad a los gases de las películas a base de gliadinas con adición de agente entrecruzante.

- Estandarizar el proceso de la obtención de gliadina para poder realizar comparaciones específicas.

REFERENCIAS

Libros

AL-HASSAN, A. and NORZIAH, M. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. Food Hydrocolloids, 26, 2012, p. 108-117.

BERTUZZI, M.A., CASTRO, E.F., ARMADA, M. and GOTTIFREDI, J.C. Water vapor permeability of edible starch based films. Journal of Food Engineering, 80(3), 2007, p. 972–978.

Bósquez, E. 2003. Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (Citrus latifolia Tanaka). Doctorado en ciencias biológicas, Universidad autónoma metropolitana. Pág. 7 – Pág. 42.

Cao, N., X. Yang, y Y. Fu, Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films, doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.07.017, Food Hydrocolloids, (en línea), 23(3), 729-735 (2009)

Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Souza, M. P., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2009). Physical properties of edible coatings and films made with polysaccharide from Anacardium occidentale L. Journal of Food Engineering, 95(3), 379-385. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.020

Carnerio-da-Cunha, M; Cerqueira, M; Souza, B; Souza,M; Teixeira, J y Vicente, A. 2009. Physical properties on edible coatings anf films made with a polysachaide from Anacardium occidentale L. Departamento de bioquímica, Universidad Federal de Pernambuco, Portugal. Pág. 383 – Pág. 384.

Ciannamea, E. M., P.M. Stefani y R.A. Ruseckaite, Physical and mechanical properties of compression molded and solution casting soybean protein concentrate based films, doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.013. Food Hydrocolloids (en línea), 38, 193-204 (2014)

Chiumarelli, M y. Hubinger, M. 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch - Carnauba wax edible coatings to preserve freshcut apples. Department of Food Engineering, University of Campinas. Pág. 59 – Pág. 67.

Denavi, G.A., M.C. Gómez-Guillén y otros cuatro autores, Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films, doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.03.007. Food Hydrocolloids (en línea), 23(8), 2094-2101 (2009)

Domenek S.; Brendel L.; Morel M.; Guilbert S. 2004. Swelling Behavior and Structural Characteristics of Wheat Gluten Polypeptide Films. *Biomacromolecules.* (5) 1002-1008.

Gounga, M. E., S.-Y Xu y Z. Wang, Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.04.008. Journal of Food Engineering, (en línea), 83(4), 521-530 (2007)

GUARDA A; GALOTTO M. J. i. AL VARADO J y AGUILERA J .M. (2001) Propiedades físicas de materiales plásticos; editorial, Acribia. España ,. 285-308.

Lee, H. y S.C. Min, Antimicrobial edible defatted soybean meal-based films incorporating the lactoperoxidase system, doi: 10.1016/j.lwt.2013.05.012, LWT - Food Science and Technology (en línea), 54(1), 42-50 (2013)

MALI, S., GROSSMANN, M.V., GARCÍA, M., MARTINO, M. and ZARITZKY, N. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. Carbohydrate Polymer, 56(2), 2004, p.129–135.

Martínez-Camacho, A. P., Cortez-Rocha, M. O., Ezquerra-Brauer, J. M., Graciano Verdugo, A. Z., Rodriguez-Félix, F., Castillo-Ortega, M. M., . . . Plascencia-Jatomea, M. (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties. Carbohydrate Polymers, 82(2), 305-315. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.04.069

Navarro, C. 2010. Recubrimientos comestibles a base dehidroxipropilmetilcelulosa: caracterización y aplicación. Departamento de tecnología de alimentos, universidad politécnica de valencia. Pág. 1 – Pág 18.

Patricia Miranda, S., Garnica, O., Lara-Sagahon, V., & Cárdenas, G. (2004). Water vapor permeability and mechanical properties of chitosan composite films. Journal of the Chilean Chemical Society, 49, 173-178.

Reyes, L. 2013. Caracterización de dispersiones filmogénicas a base de almidón de maíz y ácido oleico en nanoemulsiones con capacidad de formación de recubrimientos comestibles activos. Facultad de química, Universidad Autónoma de Querétaro Pág. 30 – Pág. 59.

Rihman, M. 2002. Manual de conservación de alimentos: Tratamiento de superficies y revestimientos comestibles en la conservación de alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. Pág. 615 – Pág. 640.

Revistas

Anker, M., M. Stading y A.-M. Hermansson, Effects of pH and the Gel State on the Mechanical Properties, Moisture Contents, and Glass Transition Temperatures of Whey Protein Films, doi: 10.1021 /jf981115d, Journal of Agricultural and Food Chemistry (en línea), 47(5), 1878-1886 (1999)

Cordula Klockenbusch, Juergen Kast. 2010. Optimization of Formaldehyde Cross-Linking for Protein Interaction Analysis of Non-Tagged Integrin 1

Cuq B.; Gontard N.; Guilbert S. 1998. Proteins as Agricultural Polymers for Packaging. *Production. Cereal Chem*., 75(1):1-9.

Denavi, G.A., M.C. Gómez-Guillén y otros cuatro autores, Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films, doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.03.007. Food Hydrocolloids (en línea), 23(8), 2094-2101 (2009)

Diana Soto, Haydée Oliva. 2012. Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: una revisión

E. R. Lieberman, S. G. Gilbert (1973). Gas permeation of collagen films as affected by cross-linkage, moisture, and plasticizer content.

Fabian Rico Rodriguez.2013. Estudio de la aplicación de recubrimientos comestibles de quitosano y su combinación con aceites esenciales sobre la vida útil del mango (mangifera indica l.) mínimamente procesado

Faraz Muneer, Eva Johansson, Mikael S. Mikael G. and William R. 2014. Preparation, properties, protein cross-linking and biodegradability of plasticizer-solvent free hemp fibre reinforced wheat gluten, glutenin and gliadin composites.

Galietta, 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, 135 p. Montevideo. Uruguay.

Gemma Herranz Gómez. 2013. Estudio de los mecanismos de reticulación en la obtención de microcápsulas de gelatina-goma arábiga.

Gounga, M. E., S.-Y Xu y Z. Wang, Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.04.008. Journal of Food Engineering, (en línea), 83(4), 521-530 (2007)

Héctor E. Covarrubias Velázquez, Aidé Sáenz Galindo, Adali O. Castañeda Facio. 2016. resinas termoestables de fenol–formaldehído

Hendrix, K.M., S.C. Min y otros dos autores, Defatted mustard seed meal-based biopolymer film development. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.013. Food Hydrocolloids (en línea), 26(1), 118-125 (2012)

Hernández Muñoz P; Kanavouras A.; K.W.Ng. Perry; Gavara R. 2003. Development and Characterization of Biodegradable Films Made from Wheat Gluten Protein Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* (51); 7647-7654.

Hernández Muñoz P.; López-Rubio A.; Lagarón J.; Gavara R. 2004. Effect of thermal treatments on functional properties of edible films made from wheat gluten fractions. *Food Hidrocolloids.* (18) 647-654.

Hernandez Muñoz P.; Villalobos R.; Chiralt A. 2004. Effect of cross-linking using aldehydes on properties of glutenin rich films. *Food Hidrocolloids.* (18) 403-411.

Herndon S. C., Yongquan L., Nelson D.D. y Zahniser M. S. (2005). Determination of line strenghs for selected transitions in the υ2 band relative to the U1 and N2 bands of H2CO. J. Quant. Spectros. Rad. Transfer 90, 207-216

Hotchkiss, H.J., 1988. An overview of food and food packaging interactions. . En: "*Food and Packaging Interactions*", Hotchkiss, J. (Ed.), ACS Symposium Series 365:1.

Iris J.Joyeab, Veronique A.Nelisa, D. Julian Mc Clementsb. 2015. Gliadin-based nanoparticles: Fabrication and stability of food-grade colloidal delivery systems.

Issa Katime, Óscar Katime Trabanca, Daniel Katime Trabanca (2004). Los materiales inteligentes de este milenio: los hidrogeles macromoleculares: síntesis, propiedades y aplicaciones.

Jangchud, A. y M. S. Chinnan, Properties of Peanut Protein Film: Sorption Isotherm and Plasticizer Effect, doi: 10.1006/fstl.1998.0498, LWT - Food Science and Technology (en línea), 32(2), 89-94 (1999)

Jastrzebski, Z. D. The Nature and Properties of Engineering Materials, 3a Ed., John Wiley & Sons, New York, USA (1987)

J.L. Escobar, D.M. García, D. Zaldivar e Issa Katime.2002. Hidrogeles. principales características en el diseño de sistemas de liberación controlada de fármacos

J. Moreno, R. Mora, J.L. García, J.A. Pascual, M. Bernal, (2014) de residuo a recurso: el camino hacia la sostenibilidad.

Kopeček, Jindřich (2007). Hydrogel Biomaterials: A Smart Future. Biomaterials 28. 10.1016/j. biomaterials.

Koros, W.J., 1990. Barrier polymers and structures: overview. En: "*Barrier Polymers and Structures*". Koros, W.J. (Ed.), *A*CS Symp. Ser. 423:1.

Kowalczyk, D. y B. Baraniak, Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties ofpea protein isolate films, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.02.037, Journal of Food Engineering (en línea), 105(2), 295-305 (2011)

Makishi, G.L.A., P.J.A. Sobral y otros seis autores, Films based on castor bean (Ricinus communis L.) proteins crosslinked with glutaraldehyde and glyoxal, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.07.025, Industrial Crops and Products (en línea), 50, 375-382 (2013)

Mangavel G.; Barbot J.; Guéguen J.; Popineau Y. 2003. Molecular Determinants of the influence of Hydrophilic Plasticizers on the Mechanical Properties of Cast Wheat Gluten Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* (51) 1447-1452.

Martelli, M.S., J.B. Laurindo y otros tres autores, Influence of plasticizers on the water sorption isotherms and water vapor permeability ofchicken feather keratin films, doi: 10.1016/j.lwt.2004.12.014, LWT - Food Science and Technology (en línea), 39(3), 292-301 (2006)

M.L. Rodríguez - Marín, L.A. Bello-Perez, H. Yee-Madeira y R.A. Gonzalez – Soto, 2013. Propiedades Mecanicas Y De Barrera De Pel ´ ´Iculas Elaboradas Con Harina De Arroz Y Platano Reforzadas Con Nanopart ´ ´Iculas: Estudio Con Superficie De Respuesta

Muñoz, L.A., J. M. Aguilera, y otros tres autores, Characterization and microstructure offilms made from mucilage of Salvia hispanica and whey protein concéntrate, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.02.031, Journal of Food Engineering (en línea), 111(3), 511-518 (2012)

Oscar Hernando Pardo Cuervo; Reinaldo Velasco Mosquera (2011). Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de películas obtenidas a partir de almidón nativo y oxidado de arracacha.

Orliac O, Rouily A, Silvestre F, Rigal L. Effects of additives on the mechanical properties, hydrophobicity and water uptake of thermo-moulded films produced from sunflower protein isolate. Polymer. 2002;43(20):5417–5425. doi: 10.1016/S0032-3861(02)00434-2.

Overton, B.W., 1993. Re-use of polymers for food packaging in contact with food. En "*Materials for food packaging", Proc. Sem. at Swedish Exhibition and Congress Centre*", Gothenburg, Sweden.

Parris y Coffin, (1997). Edible coatings and films to improve food quality, second Edition

Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. (1995). Segmentation of brain electrical activity into microstates: model estimation and validation.

Petersen, K., Nielsen, P. V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M. B., Nilssonk, N. H., et al. (1999). Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science & Technology,* 10, 52-68.

Pommet, M.; Redl, A.; Guilbert, S., et al. (2005). Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic materials. *Journal of Cereal Science*, (42-1) 81-91.

Quintero, C. Juan.I; Falguera, Victor.II; Muñoz, H. Aldemar.I, 2010. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola.

Rafael E. González Cuello, Néstor A. Urbina y Lena Morón Alcázar, 2015. Caracterización Viscoelástica de Biopelículas Obtenidas a Base de Mezclas Binarias.

Rouilly, A.; Rigal, L. (2002). Agro-materials: A bibliographic review. *Journal of Macromolecular Science-Polymer Reviews*, (C42-4) 441-479.

Schou, M., A. Longares y otros cuatro autores, Properties of edible sodium caseinate films and their application as food wrapping, doi: 10.1016/j.lwt.2004.08.009, LWT - Food Science and Technology (en línea), 38(6), 605-610 (2005)3

Sobral, P.J.A., J.S. dos Santos y F.T. García, Effect of protein and plasticizer concentrations in film forming solutions on physical properties of edible films based on muscle proteins of a Thai Tilapia, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.015, Journal of Food Engineering (en línea), 70(1), 93-100 (2005)

Tharanathan R.N. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, (14) 71-78.

Vanin, F.M.., P.J.A. Sobral y otros tres autores, Effects of plasticizers and their concentrations on termal and functional properties of gelatin-based films, doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.12.003, Food Hydrocolloids (en línea), 19, 899-907 (2005)

Cibergrafía

http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuadernilloEnvasesyEmbalajes.pdf
http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE03/Garcia.PDF
http://www.uv.es/=vicalegr/PTindex/PTformol.html
http://media.wix.com/ugd/96ffdc_86be08c8c53579a4b6922436fa1de8fe.pdf
https://www.ecured.cu/Hidrogeles

ANEXO 1. Análisis estadístico para determinación de espesor

One-way ANOVA: espesor versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF    Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  0,440618  0,220309   799,19    0,000
Error           6  0,001654  0,000276
Total           8  0,442272


Model Summary

        S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,0166032  99,63%     99,50%      99,16%


Means

concentracion  N     Mean    StDev        95% CI
patron0%       3  0,11500  0,01217  (0,09154; 0,13846)
trata4%        3  0,08200  0,01039  (0,05854; 0,10546)
trata8%        3   0,5670   0,0239  ( 0,5435;  0,5905)

Pooled StDev = 0,0166032
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N     Mean  Grouping
trata8%        3   0,5670  A
patron0%       3  0,11500    B
trata4%        3  0,08200    B

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Anexo 2. Análisis estadístico para determinación de color (L*, a*, b*, C* Y h°)

• Luminosidad

One-way ANOVA: L* versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2   235,4  117,70     3,32    0,107
Error           6   212,8   35,46
Total           8   448,2


Model Summary

      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
5,95507  52,52%     36,70%       0,00%


Means

concentracion  N    Mean  StDev       95% CI
patron0%       3  62,927  1,647  (54,514; 71,340)
trata4%        3   67,50  10,10  ( 59,09;  75,91)
trata8%        3  75,313  1,285  (66,900; 83,726)

Pooled StDev = 5,95507
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N    Mean  Grouping
trata8%        3  75,313  A
trata4%        3   67,50  A
patron0%       3  62,927  A

Means that do not share a letter are significantly different.
```

• Coordenadas rojo/verde (a*)

One-way ANOVA: a* versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  0,5060  0,2530     1,78    0,248
Error           6  0,8542  0,1424
Total           8  1,3602


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,377315  37,20%     16,27%       0,00%


Means

concentracion  N     Mean   StDev        95% CI
patron0%       3   0,5333  0,1601  ( 0,0003; 1,0664)
trata4%        3    0,097   0,631  ( -0,436;  0,630)
trata8%        3  -0,0167  0,0586  (-0,5497; 0,5164)

Pooled StDev = 0,377315
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N     Mean  Grouping
patron0%       3   0,5333  A
trata4%        3    0,097  A
trata8%        3  -0,0167  A

Means that do not share a letter are significantly different.
```

• Coordenadas amarillo/azul (b*)

One-way ANOVA: b* versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  18,992  9,4960    13,42    0,006
Error           6   4,246  0,7077
Total           8  23,238


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,841242  81,73%     75,64%      58,89%


Means

concentracion  N   Mean  StDev      95% CI
patron0%       3  6,120  0,440  (4,932; 7,308)
trata4%        3  6,233  1,218  (5,045; 7,422)
trata8%        3  3,097  0,667  (1,908; 4,285)

Pooled StDev = 0,841242
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N   Mean  Grouping
trata4%        3  6,233  A
patron0%       3  6,120  A
trata8%        3  3,097    B

Means that do not share a letter are significantly different.
```

• saturación C*

One-way ANOVA: c* versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  19,259  9,6294    13,81    0,006
Error           6   4,184  0,6973
Total           8  23,443


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,835038  82,15%     76,20%      59,84%


Means

concentracion  N   Mean  StDev      95% CI
patron0%       3  6,147  0,455  (4,967; 7,326)
trata4%        3  6,257  1,199  (5,077; 7,436)
trata8%        3  3,100  0,669  (1,920; 4,280)

Pooled StDev = 0,835038
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N   Mean  Grouping
trata4%        3  6,257  A
patron0%       3  6,147  A
trata8%        3  3,100    B

Means that do not share a letter are significantly different.
```

- tono hue angle, H*

One-way ANOVA: H* versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2   41,88   20,94     1,43    0,310
Error           6   87,64   14,61
Total           8  129,52


Model Summary

      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
3,82197  32,33%      9,78%       0,00%


Means

concentracion  N    Mean  StDev       95% CI
patron0%       3  85,070  1,153  (79,671; 90,469)
trata4%        3   88,88   6,39  ( 83,48;  94,28)
trata8%        3  90,147  1,283  (84,747; 95,546)

Pooled StDev = 3,82197
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N    Mean  Grouping
trata8%        3  90,147  A
trata4%        3   88,88  A
patron0%       3  85,070  A

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Anexo 3. Análisis estadísticos para determinación de la Pérdida de peso o absorción en agua

- **Perdida de peso**

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	*Cuenta*	*Suma*	*Promedio*	*Varianza*
Columna 1	3	241,12	80,3733333	0,40813333
Columna 2	3	196,29	65,43	0,1767
Columna 3	3	179,82	59,94	0,6748

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	670,964422	2	335,482211	798,999682	5,2341E-08	5,14325285
Dentro de los grupos	2,51926667	6	0,41987778			
Total	673,483689	8				

Anexo 4. Análisis estadístico para determinación de Permeabilidad al vapor de agua

One-way ANOVA: permeabilidad versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF   Adj SS   Adj MS   F-Value  P-Value
concentracion   2  33,9732  16,9866  65698,00    0,000
Error           6   0,0016   0,0003
Total           8  33,9747


Model Summary

        S     R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,0160797  100,00%     99,99%      99,99%


Means

concentracion  N     Mean    StDev        95% CI
patron0%       3  8,06133  0,00208  (8,03862; 8,08405)
trata4%        3  5,54333  0,00981  (5,52062; 5,56605)
trata8%        3   3,3050   0,0260  ( 3,2823;  3,3277)

Pooled StDev = 0,0160797
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N     Mean  Grouping
patron0%       3  8,06133  A
trata4%        3  5,54333    B
trata8%        3   3,3050      C

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Anexo 6. Análisis estadístico para Propiedades mecánicas

- **Resistencia a la tensión (MPa)**

One-way ANOVA: Resist tension versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF   Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  436,050  218,025  1126,72    0,000
Error           6    1,161    0,194
Total           8  437,211


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,439891  99,73%     99,65%      99,40%


Means

concentracion  N     Mean   StDev        95% CI
patron0%       3    3,440   0,665  (  2,819;   4,061)
trata4%        3   12,548   0,345  ( 11,926;  13,169)
trata8%        3  20,4763  0,1367  (19,8549; 21,0978)

Pooled StDev = 0,439891
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N     Mean  Grouping
trata8%        3  20,4763  A
trata4%        3   12,548    B
patron0%       3    3,440      C

       Means that do not share a letter are significantly different.
```

- **Elongación (%)**

One-way ANOVA: elongac % versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF   Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  3073,48  1536,74  1482,31    0,000
Error           6     6,22     1,04
Total           8  3079,70


Model Summary

      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
1,01819  99,80%     99,73%      99,55%


Means

concentracion  N    Mean  StDev       95% CI
patron0%       3  53,907  0,229  (52,468; 55,345)
trata4%        3  21,706  1,414  (20,268; 23,144)
trata8%        3  10,255  1,028  ( 8,817; 11,693)

Pooled StDev = 1,01819
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N    Mean  Grouping
patron0%       3  53,907  A
trata4%        3  21,706    B
trata8%        3  10,255      C

       Means that do not share a letter are significantly different.
```

- **Módulo de elasticidad (N)**

One-way ANOVA: modulo de elast versus concentracion

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0,05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor         Levels  Values
concentracion       3  patron0%; trata4%; trata8%


Analysis of Variance

Source         DF   Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
concentracion   2  51,0690  25,5345  1276,17    0,000
Error           6   0,1201   0,0200
Total           8  51,1890


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,141452  99,77%     99,69%      99,47%


Means

concentracion  N     Mean    StDev        95% CI
patron0%       3   2,6927   0,0431  ( 2,4928;  2,8925)
trata4%        3  4,30533  0,01102  (4,10550; 4,50517)
trata8%        3    8,355    0,241  (  8,156;   8,555)

Pooled StDev = 0,141452
```

Tukey Pairwise Comparisons

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

concentracion  N     Mean  Grouping
trata8%        3    8,355  A
trata4%        3  4,30533    B
patron0%       3   2,6927      C

       Means that do not share a letter are significantly different.
```

Anexo 7. Ficha técnica del gluten de trigo

Tecnas Socios en su progreso.	FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO TERMINADO	PT-1103
FD-17 - Versión N°8	Fecha: 2016-01-06	Aprobado por: LSV

Versión: 11 Fecha de aprobación de ficha técnica: 2017-02-02

Documento elaborado por: MRS Revisado y aprobado por: GERENTE INNOVACIÓN Y DESARROLLO

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO			
Nombre	GLUTEN DE TRIGO	Referencia	N/A
Ingredientes	Proteína insoluble del trigo.		

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
ASPECTO	Polvo	EO-CC-11. Basado NTC 2680
COLOR APARENTE	Amarillo claro	EO-CC-12. Basado NTC 4604
OLOR	Característico	EO-CC-13. Basado NTC 2680
SABOR	Característico	EO-CC-14. Basado NTC 2680

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
PÉRDIDAS POR SECADO	%	Máximo 9,0	EO-CC-19. Basado en NTC 529
PROTEINA (N x 6,25)	%	Mínimo 82,0	EO-CC-46 Basado en NTC 4657
CENIZAS	%	Máximo 2,0	N/D
GRASA	%	Máximo 2,0	N/D
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA	%	Mínimo 150,0	N/D

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y ENTOMOLÓGICAS

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Recuento microorganismos aerobios mesófilos	U.F.C./g	Máximo 10000	EO-CC-03. Basado en NTC 4519
Recuento mohos y levaduras	U.F.C./g	Máximo 200	EO-CC-04. Basado en NTC 4132
Coliformes fecales	N.M.P./g	< 3,0	EO-CC-05. Basado en NTC 4516
Recuento *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva	U.F.C./g	< 100	EO-CC-07. Basado en NTC 4779
Detección de *Salmonella*	spp/25g	Ausente	EO-CC-09 Basado en NTC 4574

TECNAS S.A. web: www.tecnas.com.co
e-mail: servicioalcliente@tecnas.com.co
Itagüí - Colombia

Cra 50G No. 12 sur – 29, A.A. 51040
Teléfonos: (57)(4) 2854290- 2858290
Fax: (57)(4) 2553809