

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño, construcción y validación de un equipo para medir la
permeabilidad al vapor de agua en películas flexibles"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Presentado por:

Diego Josue Lucero Piscocama

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque sin él nada sería posible para mí. A mi Madre por ser la luz que me rescató en los momentos más oscuros, a mi Padre por siempre darme una oportunidad más de volverlo a intentar. A la Dra. María Barragán que, aunque ya no esté conmigo, jamás olvidaré todo lo que me enseñó. A los Ph. D. Sandra Acosta y Sócrates Palacios por sus invaluable consejos, conocimientos y ayuda a lo largo de este trabajo.

A mis amigas Angeline y Dayana por ser un equipo de trabajo maravilloso.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres: Octavio Lucero y Blanca Piscocama, quienes a pesar de que tantas veces me equivoqué siempre estuvieron conmigo y nunca se rindieron.

A la Dra. María Barragán por ser uno de los pilares fundamentales de mi vida que siempre creyó en mí y me ayudó en todo lo que pudo.

Diego Lucero Piscocama.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Diego Josue Lucero Piscocama

Sandra Acosta Dávila., Ph. D.

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Autor: Diego Lucero Piscocama



Tutor: Sandra Acosta D., Ph. D.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo la validación de un equipo de medición de permeabilidad al vapor de agua, construido en esta etapa del proyecto que tiene sensores de control de humedad, temperatura y peso aplicando el método gravimétrico modificado ASTM E96-95. El equipo de fabricación nacional será validado versus un equipo comercial, con una curva de calibración con la que se obtuvo el porcentaje o margen de error de aproximadamente 9%. El equipo puede medir películas flexibles bio y no bio degradables, la calibración se realizó en películas de polietileno de baja densidad (PEBD).

Como se puede medir en este equipo de PVA, cualquier tipo de películas flexibles, en este proyecto se elaboró películas biodegradables a base de almidón de yuca (Y) y gelatina (G) al 3% p/p con glicerol (GL) al 30%, mezcladas en una relación 50:50. Una vez secada las películas por el método de casting se procedió a caracterizarlas en propiedades: físicas y mecánicas. En el análisis de las propiedades mecánicas obtenidos por la película de la mezcla Y:G, se evidenció que los valores de módulo de Young y elongación fueron parecidos a los de la película de gelatina, indicando la alta influencia que tuvo esta sobre las propiedades mecánicas de la matriz final. El análisis de reología mostró que la película de la mezcla Y:G presenta un comportamiento viscoelástico. El espesor de las películas no presentó diferencias significativas debido a que existe una compatibilidad y un secado uniforme. También se determinó el layout de la planta para la producción de las películas, así como el análisis para la obtención del precio de venta al público por kilo de película (mezcla Y:G) que fue de \$3.81, siendo este valor competitivo con otras alternativas plásticas del mercado.

Palabras claves: Almidón de yuca, propiedades mecánicas, gelatina, películas.

ABSTRACT

The objective of this work was the validation of a water vapor permeability measurement equipment, constructed in this phase of the project with sensors for humidity control, temperature and weight, applying the modified gravimetric method ASTM E96-95. The national manufacture equipment will be validated versus an industry equipment, with a calibration curve to indicate the percentage or error margin that was 9%. The equipment can measure bio and non-bio degradable films. Calibration was made with low density polyethylene (LDPE).

As we can measure every kind of film in this equipment, there were elaborated biodegradable flexible films with cassava starch (Y) and gelatin (G) to 3 % w/w with glycerol (GL) to 30%, mixed in a 50:50 ratio. Once dried the films by casting method they were proceeded to be characterized in properties such as: physical and mechanical. The mechanical properties analysis for the Y:G mixture film, showed that the values of Young's module and elongation were similar to those of gelatin film, showing that the final matrix is highly influenced by the gelatin film. The rheology analysis showed that the Y:G mixture film presented a viscoelastic behavior. The thickness of the movies did not present significant differences since a compatibility and a uniform drying exists. Also the Layout of the plant for the production of the films was made, as well as the analysis to obtain the retail price for kilo of the Y:G mixture film that was \$3.81, being this a competitive price compared with other plastic alternatives of the market.

Key words: *Cassava starch, mechanical properties, gelatin, films.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURA	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo general	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Marco teórico.....	2
CAPÍTULO 2.....	2
2. METODOLOGÍA	2
2.1 Materiales	2
2.2 Preparación y acondicionamiento de las películas	2
2.3 Caracterización de las películas	2
2.3.1 Reología	2
2.3.2 Espesor de las películas.....	6
2.3.3 Propiedades mecánicas	6
2.3.4 Humedad.....	6
2.3.5 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	7
2.3.9 Método de análisis estadístico.....	8
CAPÍTULO 3.....	6
3. RESULTADOS	6
3.1 Reología	6
3.2 Espesor	11
3.3 Propiedades mecánicas	11
3.4 Humedad	12
3.5 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	12
3.6 Layout de la planta	15
3.7 Diagrama de flujo	17

3.8 Estimación de costos.....	18
3.9 Costos de elaboración.....	19
CAPÍTULO 4.....	10
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	10
4.1 Conclusiones.....	10
4.2 Recomendaciones.....	21
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURA

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
MOD	Mano de obra directa
MOI	Mano de obra indirecta
PVP	Precio de venta al público
PVA	Permeabilidad al vapor de agua

SIMBOLOGÍA

Y	Almidón de yuca
G	Gelatina
GL	Glicerol
Y:G	Mezcla de almidón de yuca con gelatina
PEBD	Polietileno de baja densidad
p/p	Peso sobre peso
µm	Micras
s.t.	Sólidos totales
HR	Humedad relativa
°C	Grados Celsius
RPM	Revoluciones por minuto
Min	Minutos
%	Porcentaje
Hz	Hertz
G'	Módulo elástico
G''	Módulo de viscosidad
kN	Kilo Newton
N	Fuerza
ME	Módulo de Young
TS	Tensión a la fractura
mm	Milímetro
Mpa	Mega Pascales
%E	Elongación
DSC	Análisis térmico
P1	Peso de la cápsula
P2	Peso de la cápsula + muestra
P3	Peso de la cápsula + muestra seca
cm	Centímetros
MI	Mililitros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Módulo de elasticidad vs la frecuencia de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).....	10
Figura 2. Módulo de viscosidad vs la frecuencia de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).....	10
Figura 3. Gráfica de regresión lineal del polietileno de baja densidad en el equipo comercial	13
Figura 4. Gráfica de regresión lineal del polietileno de baja densidad en el equipo construido en Espol	13
Figura 5. Curva de calibración de la permeabilidad al vapor de agua en el equipo comercial vs el equipo construido Espol	14

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Espesor de las películas de Almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).	11
Tabla 2. Propiedades mecánicas: Módulo de Young (ME) y Elongación (%E) de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).....	12
Tabla 3. Humedad de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).	12
Tabla 4. Comparación de los datos de permeabilidad al vapor de agua de la película de polietileno de baja densidad en los dos equipos.	13
Tabla 5. Costos de materia prima para la elaboración de las películas de la mezcla almidón de yuca y gelatina (Y:G)	18
Tabla 6. Costos de elaboración de las películas de la mezcla almidón de yuca y gelatina (Y:G).....	19

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

En la industria de plásticos, uno de los parámetros de mayor control es la determinación de la barrera al vapor de agua, razón por la cual se propuso el diseño y construcción de un equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua (PVA) aplicando el método gravimétrico modificado ASTM E96-95, el diseño del equipo posee sensores para el control de humedad, temperatura y peso, estos sensores serán registrados en el software Labview cuyos datos serán registrados en un Excel para obtener los valores y la gráfica correspondiente, este ensayo se puede aplicar en películas flexibles bio o no bio biodegradables, posteriormente los resultados obtenidos serán validados con ensayos realizados en un equipo industrial (Mocom) de manera que se obtenga una curva de calibrado y el margen de error, para hacer los dos equipos comparables. Esto nos permite ofrecer un equipo y un método de análisis de PVA, validado para uso en industria de plásticos y afines.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Construir un equipo de permeabilidad al vapor de agua con sensores de control de humedad, temperatura y peso para realizar ensayos en películas flexibles bio y no bio degradables aplicando el método gravimétrico ASTM E96-95.

1.2.2 Objetivos específicos

- Validar el equipo de permeabilidad al vapor de agua construido versus un equipo comercial con una película de PEBD y obtener una curva de calibración que indique el % de error.
- Elaborar una película flexible a base de biopolímeros.
- Caracterizar la matriz en propiedades físicas.
- Obtener un diagrama de flujo del proceso de elaboración de las películas biodegradables.
- Obtener los costos de producción de películas biodegradables.

1.3 Marco teórico

La permeabilidad al vapor de agua en las películas flexibles de uso en industrias de plástico, constituye uno de los requisitos para determinar el tiempo de vida del almacenamiento de un producto así como el intercambio del producto envasado y el medio ambiente, se considera a la barrera al vapor de agua una limitante para la conservación de productos empacados en percha (McHugh, Avenabustillos, & Krochta, 1993). La tendencia actual es reemplazar o buscar alternativas a los envases convencionales de plásticos provenientes de recursos no renovables o hidrocarburos insolubles en agua, es así, que se muestra como una alternativa el desarrollo de películas a base de biopolímeros, (Slavutsky & Bertuzzi, 2016) estas pueden ser producidas a gran escala y bajo costo, con propiedades mecánicas y de barrera que deben de ser aún más estudiadas (Tongdeesoontorn, Mauer, Wongruong, Sriburi, & Rachtanapun, 2012). En la actualidad los consumidores son más demandantes de bienes amigables con el medio ambiente, por lo que suelen estar en una constante búsqueda de empaques que sean reciclables y compostables. Las películas biodegradables elaboradas a partir de almidones pueden verse afectadas por los factores intrínsecos como: cristalinidad, la relación hidrofobicidad/hidrofilia, carga superficial y el tamaño de molécula así como los factores extrínsecos del proceso como: temperatura de proceso, condiciones de secado y

humedad relativa en el proceso de fabricación y después en el almacenamiento (X. Wang, Sun, Liu, Li, & Ma, 2011) repercutiendo en cambios físicos y químicos que pueden alterar las características mecánicas y de barrera (Chinma, Ariahu, & Alakali, 2015). Siendo así las investigaciones se hacen alrededor de la necesidad creciente de entender las interacciones entre las estructuras, las moléculas de agua y otros aditivos usados en la elaboración de las películas (Basiak, Lenart, & Debeaufort, 2017), estas interacciones han llevado a la combinación de diferentes estructuras para mejorar la matriz final en las propiedades de barrera y mecánicas. Uno de los biopolímeros más usados son los almidones que presentan beneficios de renovación y biodegradación (Kaewtatip, Tanrattanakul, Szécsényi, Pavličević, & Budinski-Simendić, 2010), entre ellos está maíz, papa, boniato, arroz y últimamente yuca, siendo el predominante en la elaboración de películas el almidón de maíz, esto posiblemente debido a su abundancia en el mundo (aproximadamente 65%) boniato (13%) y yuca (11%) (Luchese, Spada, & Tessaro, 2017). El almidón de yuca ha ganado importancia en la industria, debido a que forma geles más fuertes que los almidones de maíz, arroz y trigo (Chandanasree, Gul, & Riar, 2016) (Colivet & Carvalho, 2017) por lo que ha sido extensamente usado para producir películas como recubrimiento por ser isotrópicas, sin olor, sin sabor (Belibi et al., 2014) y que además proveen buena elongación y una menor fuerza de tensión (Nguyen Vu & Lumdubwong, 2016). Para transformar los almidones en material termoplástico se requiere la incorporación de plastificantes como el glicerol (Kaewtatip et al., 2010) (Kaewtatip et al., 2010) que reduce las interacciones entre cadenas de biopolímeros y modula las propiedades macroscópicas y funcionales de las películas contribuyendo a mejorar las propiedades mecánicas (Al-Hassan & Norziah, 2012b) además que previene rupturas en las películas debido a la gran similitud entre la estructura química del plastificante y el almidón. (Nguyen Vu & Lumdubwong, 2016). Otro biopolímero utilizado en este trabajo es la gelatina, que cuando es incorporada a la matriz, mejora sus propiedades ya que su estructura helicoidal le confiere propiedades funcionales. Las películas

elaboradas con gelatina poseen buenas propiedades de tensión a la fractura y baja elongación, buenas propiedades ópticas de brillo y buena barrera contra gases y una baja barrera al vapor de agua (Acosta et al., 2016).

Para validar al equipo construido de análisis para la permeabilidad al vapor de agua (PVA), la medición se efectuará con una película de polietileno de baja densidad, se aplicará para ello el método gravimétrico modificado ASTM E96-95 y los análisis realizados en el equipo serán contrastados con los obtenidos por un equipo comercial, realizando una curva de error para la corrección de los datos del análisis. También se elaboró una película biodegradable, que también pueda ser evaluada en el equipo construido, en una etapa posterior al trabajo presentado aquí.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Se utilizó una película de polietileno de baja densidad (PEBD) de 65 micras fabricada en la Industria Convertidora de plásticos SIGMAPLAST S.A. ubicada en Pifo, Quito, almidón de yuca (Y) de Cereales La Pradera, gelatina (G) de origen bovino marca Merck, glicerol (GL) de Merck, solución saturada de Nitrato de Magnesio Hexahidratado de Acros Organics, USA.

2.2 Preparación y acondicionamiento de las películas

Las películas fueron elaboradas por el método de dispersión, al 3% p/p para las películas Y y G individualmente. Posteriormente se mezcla en proporción (50:50), se agregó el plastificante GL al 30% s.t. luego se procedió a homogenizar a 8000 rpm por 6 min. La dispersión fue vertida en moldes para ser secadas por el método de casting por 48 horas, luego fueron guardados en un desecador con la solución saturada de Nitrato de Magnesio Hexahidratado hasta su caracterización.

2.3 Caracterización de las películas

2.3.1 Reología

Las propiedades reológicas de las dispersiones se midieron por duplicado, utilizando el reómetro de placas paralelas (kinexus Pro, Malvern, Australia). La frecuencia de barrido en el test fue de (0.01-10Hz) en un régimen lineal, con una tensión constante de 0.5% a 25°C. Los parámetros reológicos obtenidos son: módulo de elasticidad (G') el cual indica la relación entre la tensión y la deformación en un cuerpo sólido y módulo de viscosidad (G'') que es la energía que el biopolímero

absorbe y disipa, para los resultados se utilizó el software rSpace versión 1.60 (rheometry software for kinexus).

2.3.2 Espesor de las películas

Se usó un micrómetro electrónico digital (Starret A-IM-221, ST1327137, Estados Unidos). Las mediciones se llevaron a cabo en 6 lugares diferentes de la película para obtener un valor promedio del espesor de las películas.

2.3.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas se determinaron con una prensa universal de ensayos 10 kN (Shimadzu, AG-15 10 kN, Japón) y el software Trapezium X Versión 2.2. Se hicieron 4 repeticiones para cada película y la probeta con la medida de 100x25 mm, se empleó una fuerza máxima de 35 Newtons, con una extensión máxima de 80 mm y con una velocidad de elongación de 100 mm/min. Se procedió a evaluar: Modulo de Young (ME) y Elongación (%E).

2.3.4 Humedad

Se determinó humedad con las películas, que fueron cortadas en la medida de 50x50 mm y pesadas en la balanza electrónica, (Sartorius, Md120, Alemania, $\pm 0,0001g$) aproximadamente 1g de muestra, y se llevó a una estufa (Thermo Scientific, Model 3511, EE. UU.) a 60°C por 4 horas hasta peso constante, los resultados se obtuvieron por diferencia de peso. Se utilizó la fórmula (1) realizando por triplicado para cada película.

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100\% \quad (\text{Fórmula 1})$$

P₁: Peso de la cápsula

P₂: Peso de la cápsula + muestra

P₃: Peso de la cápsula + muestra seca

2.3.5 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Se aplicó el método gravimétrico modificado ASTM E96-95 (McHugh et al., 1993) en la medición de la permeabilidad al vapor de agua, según, para un gradiente de humedad relativa 53-100 % y temperatura de 20°C. Se hizo 3 repeticiones para la película flexible de PEBD de 65 µm. Las muestras se montaron entre la base y la tapa de una copa de acero inoxidable de 3,5 cm de diámetro. En el interior de la copa se añadieron 5 ml de agua destilada (100% de humedad relativa). Las copas se introdujeron en un desecador equilibrado en las condiciones antes descritas, junto con un ventilador (CPU y S.Tech 12V) colocado en la parte superior, con el fin de homogeneizar la atmósfera y asegurar una resistencia despreciable en la superficie de la película. Los desecadores se mantuvieron en una cámara a una temperatura controlada de 22-25°C y entre 59-65% de humedad relativa, estos valores fueron adaptados según eran registrados por los sensores de temperatura y humedad. El estudio de la permeabilidad se realizó mediante control de sensor de peso en cada copa las que contienen una balanza electrónica (Radwag WFC 200g±0.001 g). Las medidas se realizaron a intervalos de 1 hora durante 24 horas. La transmisión de vapor de agua se determinó a partir de la pendiente obtenida en el análisis de regresión de los datos del peso frente al tiempo, dividido por el área de la película. La PVA se expresa en $g \times mm \times KPa^{-1} \times h^{-1} \times m^{-2}$. Para validar este parámetro de caracterización, se procedió a elaborar una curva de calibración usando los datos obtenidos por el equipo construido en Espol y los obtenidos por el equipo comercial, con la película de PEBD. En la curva de calibración en el eje de las ordenadas se colocó los datos obtenidos por el equipo comercial y en el eje de las abscisas los datos obtenidos por el equipo construido para determinar cómo se relacionan los datos entre los dos equipos.

2.3.9 Método de análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó usando Minitab® 17.1.0. Se comparó el tratamiento y el control de las variables con un nivel de confianza del 95%. Cada una de las variables de respuesta consideradas fueron objeto de análisis de media y desviación estándar; ANOVA análisis de varianza. Diferencias significativas por el valor $p \leq 0.05$. Los resultados se dieron:(a, b, c, diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas entre las películas y los superíndices x, y, en la misma fila indican diferencias significativas entre películas ($p < 0.05$)).

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Reología

Los resultados de las propiedades reológicas de las dispersiones analizadas se muestran en las figuras 1 y 2, donde G'' en todas las muestras se incrementó gradualmente conforme la frecuencia es aumentada demostrando así una mejor estructura rígida para la G, como lo reportaron (Singh, Geveke, & Yadav, 2017) esto puede ser debido al grado de hinchazón de los gránulos durante el proceso de la gelatinización para llenar el volumen disponible en el sistema, mientras que el análisis reportado para G' se evidencia una pequeña disminución de los valores en las películas, esto es debido a que se derriten los cristales remanentes lo que causa que estos se vuelvan suaves como se puede observar en la dispersión Y, (Jan, Panesar, Rana, & Singh, 2017), en comparación con los resultados mostrados por (Singh et al., 2017) G'' es mayor que el de elasticidad en todas las películas, demostrando así un comportamiento mayormente viscoso. La película que tiene la mayor elasticidad es Y, y la de menor fue la película G, mientras que en la mezcla Y:G, se encontró un valor más cercano al obtenido en la película Y, lo que nos indica que se produjo una buena mezcla. Por los resultados de G' y G'' en las películas analizadas, nos indica un comportamiento más viscoso que elástico.

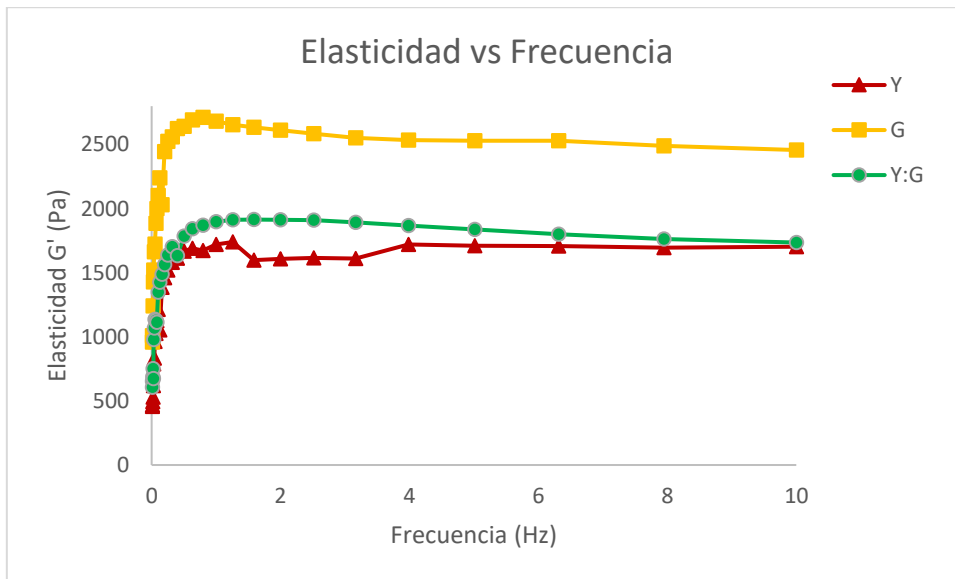


Figura 1. Módulo de elasticidad vs la frecuencia de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).

Fuente: elaboración propia

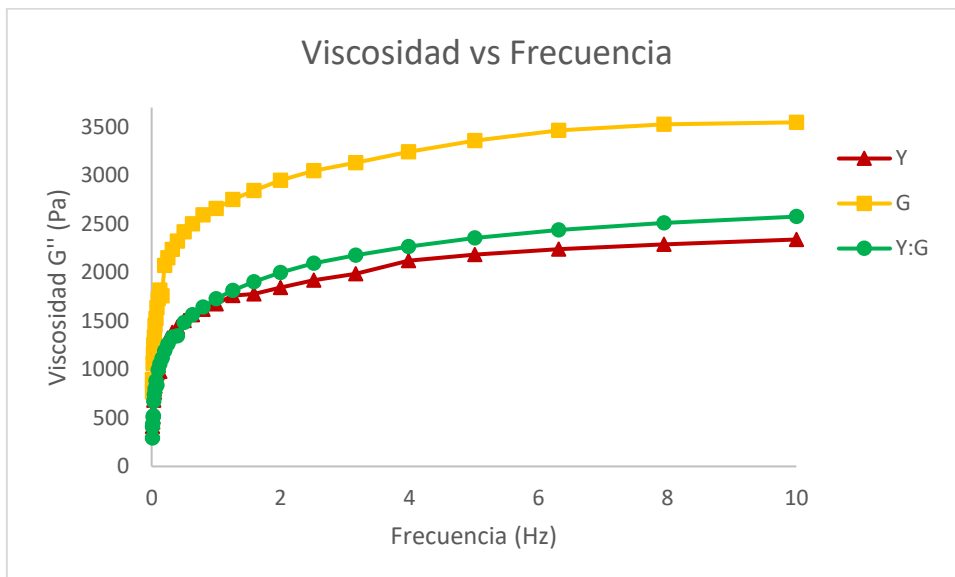


Figura 2. Módulo de viscosidad vs la frecuencia de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).

Fuente: elaboración propia

3.2 Espesor

Los valores de espesor obtenidos se muestran en la tabla 1, donde no se observa diferencias significativas entre las películas analizadas, pudiendo ser porque todas fueron elaboradas con el mismo porcentaje de sólidos totales y la pérdida de agua en todas las películas fue uniforme. Estos son parecidos a los valores que reportaron (Tongdeesoontorn et al., 2012) cuyas películas fueron elaborados con almidón de yuca y gelatina y los de (Luchese et al., 2017) que fueron elaboradas con almidón de maíz y otras con almidón de yuca. También se encontraron valores diferentes en trabajos realizados por (Acosta et al., 2016) que elaboró películas con almidón de yuca y gelatina con contenido diferente de sólidos totales y (Al-Hassan & Norziah, 2012b) que las elaboró con almidón de sagú y gelatina.

Tabla 1. Espesor de las películas de Almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).

Espesor	
Películas	µm
Almidón de yuca (Y)	132.50 (12.45) ^(a)
Gelatina (G)	133.02 (12.02) ^(a)
Mezcla Y:G	127.25 (7.89) ^(a)

Fuente: elaboración propia

3.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas que se analizaron son módulo de Young (ME) y elongación (%E) los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2, donde se observa que la película G, es la que presentó el valor más alto en la propiedad de ME y el valor más bajo de %E valores contrarios a los encontrados para la película Y. Cuando se analiza la película Y:G esta presentó un valor medio más cercanos a los valores de la película G, esto puede deberse a el aporte de la gelatina con los enlaces de oxígeno de la estructura tri helicoidal que son más fuertes formando películas rígidas. Para la propiedad de elongación en la película Y, se obtuvo un valor de 63.67%, los valores de elongación

varían dependiendo del origen de la matriz, siendo altos (95.15-102.3%) si la matriz es de sagú y gelatina de pez como lo reportó (Al-Hassan & Norziah, 2012b) y bajos (49.4%) cuando se trata solo de almidón de yuca (Belibi et al., 2014).

Tabla 2. Propiedades mecánicas: Módulo de Young (ME) y Elongación (%E) de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).

Películas	ME (Mpa)	%E
Almidón de yuca (Y)	0,39(0,10) ^(c)	63,67(8,68) ^(a)
Gelatina (G)	7,72(1,61) ^(a)	30,49(8,63) ^(b)
Mezcla Y:G	5,07(0,71) ^(b)	37,85(1,39) ^(b)

Fuente: elaboración propia

3.4 Humedad

Los resultados obtenidos en el análisis de humedad realizado a las películas se muestran en la tabla 3. Donde se observa que si hay diferencias significativas entre ellas y los valores obtenidos no superan al 10% de contenido de humedad.

Tabla 3. Humedad de las películas de almidón de yuca (Y), gelatina (G) y mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G).

Películas	Humedad (%)
Almidón de yuca (Y)	8.06 (0.15) ^(c)
Gelatina (G)	9.40 (0.09) ^(a)
Mezcla Y:G	8.66 (0.11) ^(b)

Fuente: elaboración propia

3.5 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Los valores de permeabilidad al vapor de agua de la película PEBD obtenidos por los equipos (Espol-Industrial) se muestran en la tabla 4. Los gráficos de regresión lineal de los datos obtenidos por el equipo comercial y el equipo construido de PVA se muestran en la figura 3 y 4 respectivamente. Se puede observar que para las muestras analizadas en el equipo comercial estas presentaron una mayor desviación estándar, que los datos encontrados en el análisis realizado en el

equipo construido de PVA, con estos datos se elaboró la curva de calibración que se muestra en la figura 5.

Tabla 4. Comparación de los datos de permeabilidad al vapor de agua de la película de polietileno de baja densidad en los dos equipos.

	Equipo comercial	Equipo construido Espol de PVA
Películas	Permeability (g-mm/kPa-h-m ²)	Permeability (g-mm/kPa-h-m ²)
1	0.028 ^(x)	0.027 ^(x)
2	0.039 ^(x)	0.035 ^(y)
3	0.049 ^(x)	0.043 ^(y)
4	0.057 ^(x)	0.050 ^(y)
promedio	0.043 (0,013)	0.039 (0,010)

Fuente: Lucero, D. 2017

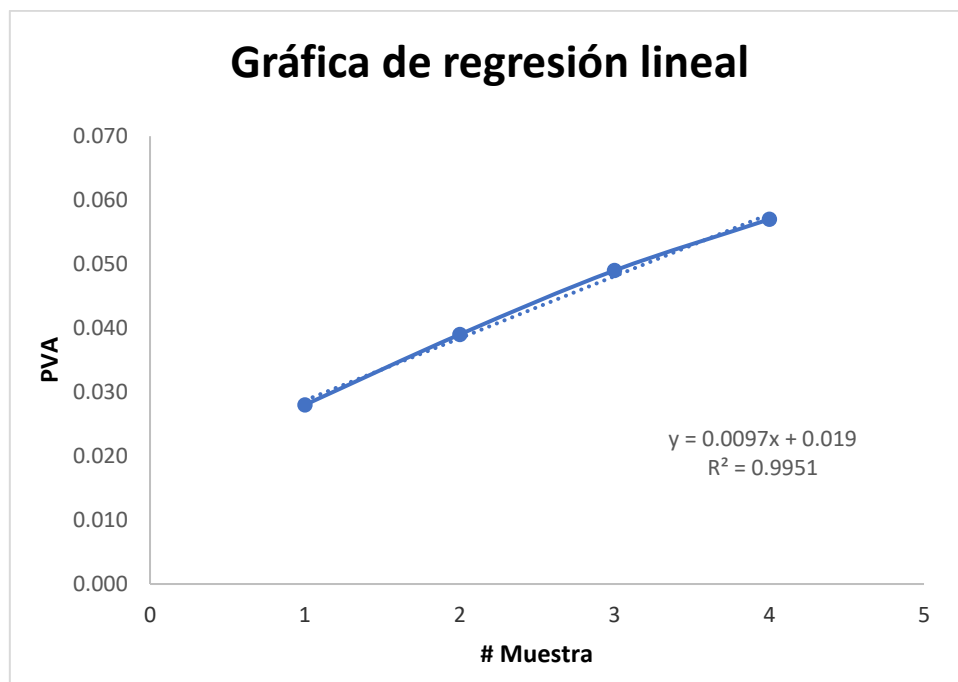


Figura 3. Gráfica de regresión lineal del polietileno de baja densidad en el equipo comercial

Fuente: elaboración propia

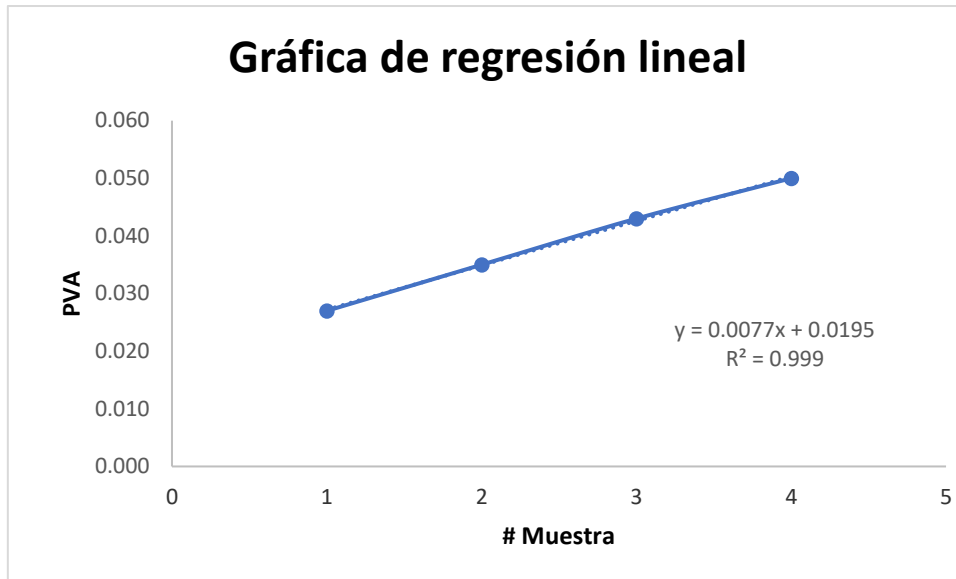


Figura 4. Gráfica de regresión lineal del polietileno de baja densidad en el equipo construido en Espol

Fuente: elaboración propia

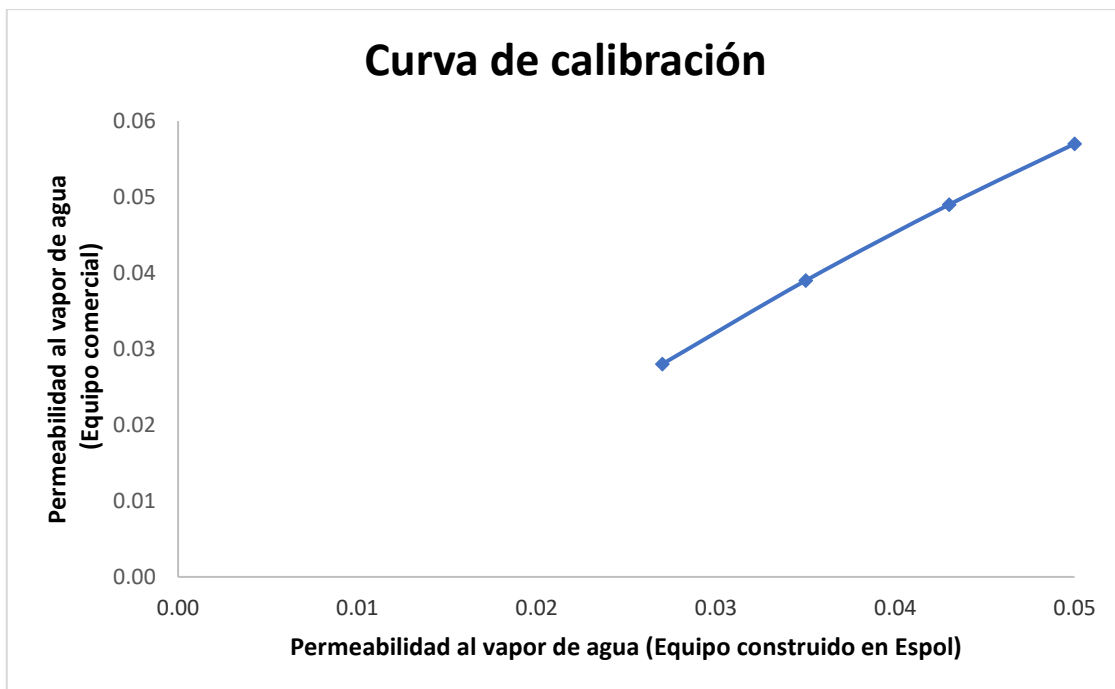


Figura 5. Curva de calibración de la permeabilidad al vapor de agua en el equipo comercial vs el equipo construido Espol

Fuente: elaboración propia

3.6 Layout de la planta

En la figura 6, se muestra la propuesta de la planta para la elaboración de películas.

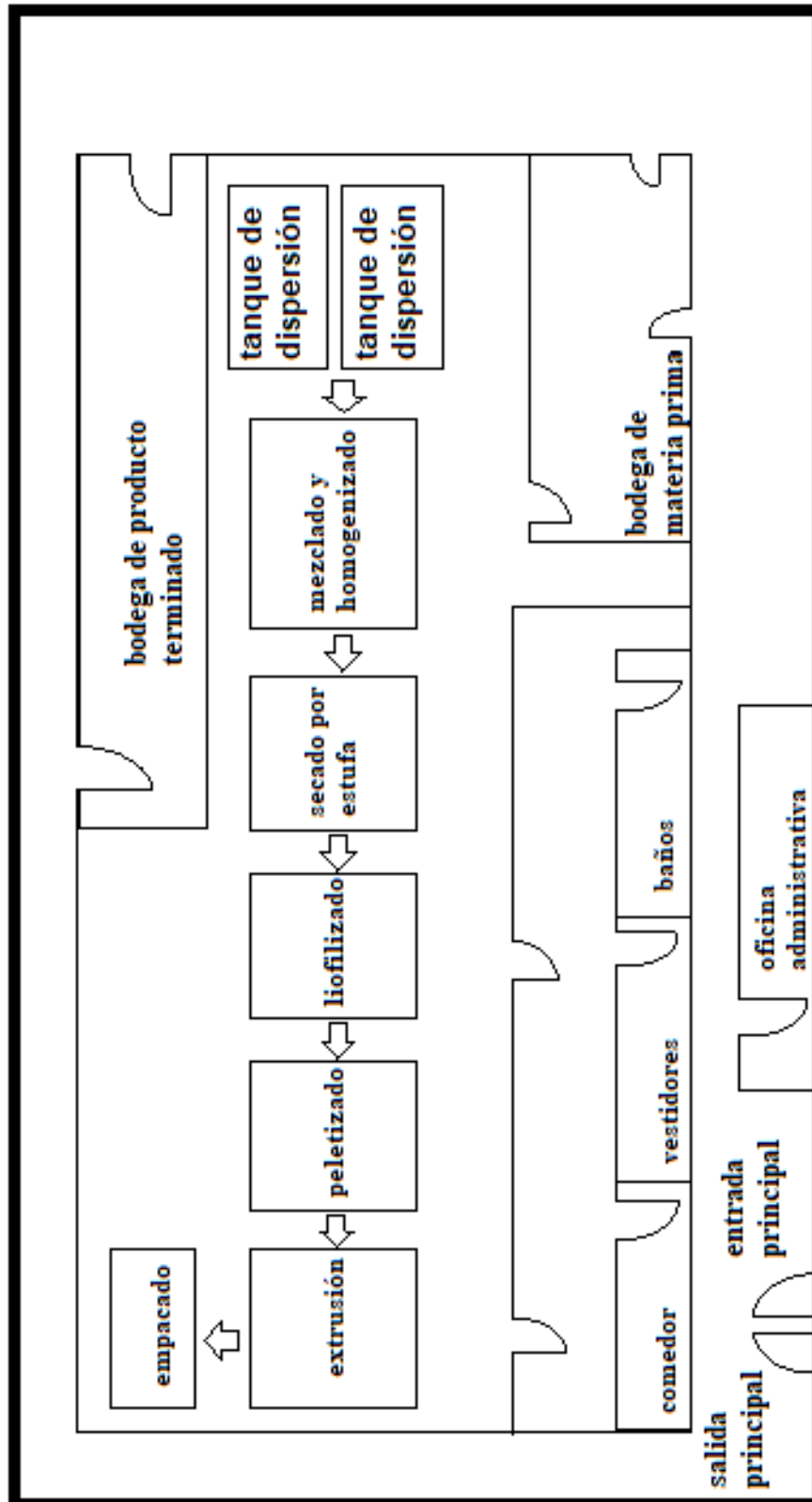


Figura 6. Layout de la planta

Fuente: elaboración propia

3.7 Diagrama de flujo

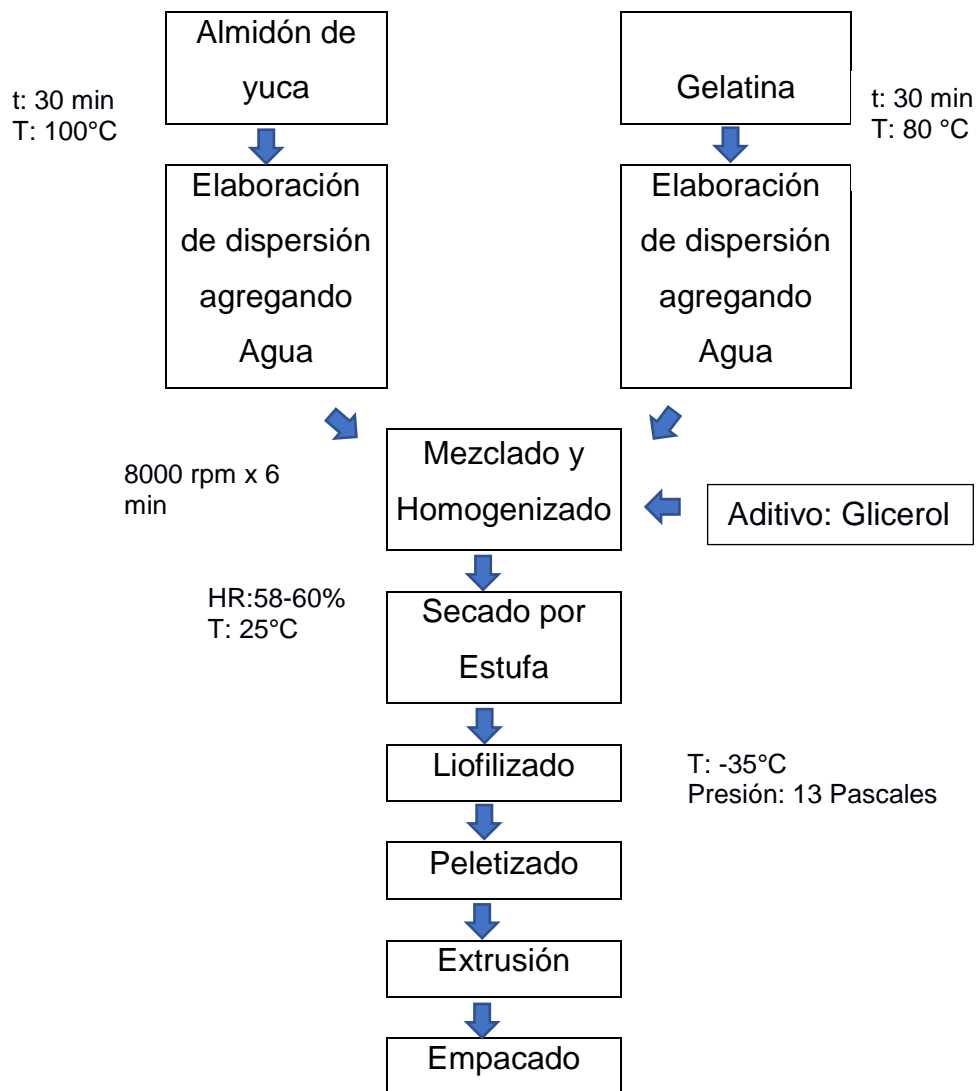


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso propuesto.

Fuente: elaboración propia

3.8 Estimación de costos

Para conocer si la formulación es económicamente viable utilizamos un análisis de los costos relacionados a este proceso, para de esta manera, poder compararlo con un material plástico que se encuentra en el mercado, se prevé una producción de 600 kg/día de producto final según las tendencias actuales que fueron analizadas.

En la tabla 5, se puede observar los costos de materia prima incurridos para la producción: diaria, mensual y anual de películas de la mezcla de almidón de yuca y gelatina (Y:G)

Tabla 5. Costos de materia prima para la elaboración de las películas de la mezcla almidón de yuca y gelatina (Y:G)

Materia prima	Costo/kg	Kg/día de materia prima	Costo por día	Costo por mes	Costo por año
Almidón de yuca	\$2.80	195.66	\$547.85	\$13,696.20	\$167,641.49
Gelatina	\$14.00	195.66	\$2,739.24	\$68,481.00	\$838,207.44
Glicerol	\$3.63	117.396	\$426.15	\$10,653.69	\$130,401.13
Agua	\$0.00023	13044	\$3.00	\$75.00	\$918.04
Total			\$3,716.24	\$92,905.89	\$1,137,168.09

Fuente: elaboración propia

Los apéndices C y D, contienen los costos de mano de obra tanto directa como indirecta, a esta se le aplicó un factor, el cual responde a la carga social impuesta por el estado.

El apéndice E contiene los costos de servicios básicos y suministros, el apéndice F los de energía eléctrica, para determinar estos costos se usó un valor de \$0.09 el kW/h durante 8 horas que es lo que se estima que la planta trabaje diariamente, los demás valores fueron estimados o fueron obtenidos de la industria de plásticos.

Para la depreciación que se observa en el apéndice G, se utilizó el método de depreciación lineal tomando como referencia que los equipos tienen una vida útil de 10 años y por último los costos de mantenimiento observados en el apéndice H, fueron calculados con una estimación del 4% del precio total del equipo como base para dar mantenimiento.

3.9 Costos de elaboración

Se muestra el PVP de las películas en la tabla 6, este fue obtenido tomando en consideración los costos totales directos e indirectos dependiendo de la producción anual que se estima. A esto se le suma una utilidad del 10% obteniendo así el precio final.

Tabla 6. Costos de elaboración de las películas de la mezcla almidón de yuca y gelatina (Y:G).

Costos de producción	Costos por año	Kg producidos por año	Precio por Kg de producción
Materia prima	\$1,137,168.09	367200	\$3.10
Mano de obra directa	\$ 38,908.80	367200	\$0.11
Total Costos Directos	\$1,176,076.89	367200	\$3.20
Mano de obra indirecta	\$ 71,769.60	367200	\$0.20
Costo de Suministro y Servicios	\$ 14,181.18	367200	\$0.04
Depreciación	\$ 6,688.50	367200	\$0.02
Reparación y Mantenimiento	\$ 2,786.00	367200	\$0.01
Total Costos Indirectos	\$ 95,425.28	367200	\$0.26
Imprevistos 2%	\$ 1,908.51	367200	\$0.01
Total costos de producción	\$1,273,410.68	367200	\$3.47
		utilidad 10%	\$0.35
		PVP	\$3.81

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

1. Se validó el equipo construido de PVA versus el equipo comercial empleando una película de polietileno de baja densidad, para lo cual se elaboró una curva de calibración con los datos obtenidos por ambos equipos dando como resultado un valor de error del equipo construido de 9,58%.
2. Los resultados de la reología indicaron que la película de la mezcla Y:G presentó un comportamiento viscoelástico.
3. Las películas Y y G así como la película de la mezcla Y:G no mostraron diferencias significativas en su espesor, indicando que hay una compatibilidad entre polímeros y una pérdida de agua homogénea en el tiempo de secado de las películas.
4. En propiedades mecánicas la película G tiene el valor más alto de módulo de Young y el más bajo de elongación, en la película de la mezcla Y:G tenemos valores más parecidos a los obtenidos en la película G, lo que indica que la incorporación de la gelatina mejora las propiedades mecánicas de la matriz por su estructura y puentes de hidrogeno internos.
5. El costo por kg de la película de la mezcla de almidón de yuca y gelatina es de \$3.81, el cual es un precio competitivo en el mercado, haciendo factible el uso de películas biodegradables

4.2 Recomendaciones

Hacer más pruebas con otras resinas o materiales hasta obtener un patrón que pueda ser comparable cuando el equipo este en uso para clientes internos y externos.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, S., Chiralt, A., Santamarina, P., Rosello, J., González-Martínez, C., & Cháfer, M. (2016). Antifungal films based on starch-gelatin blend, containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.008>

Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012a). Food Hydrocolloids Starch e gelatin edible films : Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food hydrocolloids*, 26(1), 108-117.

Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012b). Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.015>

Badii, F., MacNaughtan, W., Mitchell, J. R., & Farhat, I. A. (2014). The Effect of Drying Temperature on Physical Properties of Thin Gelatin Films. *Drying Technology*, 32(1), 30-38. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.808206>

Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 348-356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>

Belibi, P. C., Daou, T. J., Ndjaka, J. M. B., Nsom, B., Michelin, L., & Durand, B. (2014). A comparative study of some properties of cassava and tree cassava starch films. *Physics Procedia*, 55, 220-226. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.07.032>

Chandanasree, D., Gul, K., & Riar, C. S. (2016). Effect of hydrocolloids and dry heat modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of cassava (*Manihot esculenta*) starch. *Food Hydrocolloids*, 52, 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.024>

Chinma, C. E., Ariahu, C. C., & Alakali, J. S. (2015). Effect of temperature and relative humidity on the water vapour permeability and mechanical properties of cassava starch and soy protein concentrate based edible films. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2380-2386. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1227-0>

Chiumarelli, M., & Hubinger, M. D. (2012). Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch - Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.006>

Colivet, J., & Carvalho, R. A. (2017). Hydrophilicity and physicochemical properties of chemically modified cassava starch films. *Industrial Crops and Products*, 95, 599-607. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.018>

Jan, K. N., Panesar, P. S., Rana, J. C., & Singh, S. (2017). Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027>

Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2058-2076. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0835-4>

Kaewtatip, K., Tanrattanakul, V., Szécsényi, K. M., Pavličević, J., & Budinski-Simendić, J. (2010). Thermal properties and morphology of cassava starch grafted with different content of polystyrene. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 102(3), 1035-1041. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0795-8>

Liu, F., Chiou, B. Sen, Avena-Bustillos, R. J., Zhang, Y., Li, Y., McHugh, T. H., & Zhong, F. (2017). Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 65, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.004>

Luchese, C. L., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2017). Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. *Industrial Crops and Products*, 109(September), 619-626. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.020>

Matta Fakhouria, Farayde Martellia, S. M., Caonc, Jt., Velasco, J. I., & Innocentini Meib, L. H. (2015). Edible films and coatings based on starch / gelatin : Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson ... *Postharvest Biology and Technology*, 109(October), 57-64.

McHugh, T. H., Avenabustillos, R., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films - Modified Procedure for Water-Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *J Food Sci*, 58(4), 899-903. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09387.x>

Nguyen Vu, H. P., & Lumdubwong, N. (2016). Starch behaviors and mechanical properties of starch blend films with different plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 154, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.034>

Sacithraa, R., Madhan, M. ., & Vijayachitra.S. (2013). Quantitative Analysis of Tapioca Starch using FT-IR Spectroscopy and Partial Least Squares. *International Journal of Computer Applications*, 29-33. Recuperado a partir de <http://research.ijcaonline.org/iciiiioes/number1/iciiiioes1348.pdf>

Sánchez, T., García, O., & Pinzón, M. (2012). Elaboración y caracterización de películas de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) variedad ica cultivada en el Departamento de Quindío. *Vitae*, 19(1), S426-S429.

Singh, A., Geveke, D. J., & Yadav, M. P. (2017). Improvement of rheological, thermal and functional properties of tapioca starch by using gum arabic. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.059>

Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2016). Improvement of water barrier properties of starch films by lipid nanolamination. *Food Packaging and Shelf Life*, 7, 41-46. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.01.004>

Staroszczyk, H., Sztuka, K., Wolska, J., Wojtasz-Pająk, A., & Kołodziejska, I. (2014). Interactions of fish gelatin and chitosan in uncrosslinked and crosslinked with EDC films: FT-IR study. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 117, 707-712. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.09.044>

Tongdeesoontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sriburi, P., & Rachtanapun, P. (2012). Mechanical and physical properties of cassava starch-gelatin composite films. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 61(10), 778-792. <https://doi.org/10.1080/00914037.2011.610049>

Wang, W., Wang, K., Xiao, J., Liu, Y., Zhao, Y., & Liu, A. (2017). Performance of high amylose starch-composited gelatin films influenced by gelatinization and concentration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.014>

Wang, X., Sun, X., Liu, H., Li, M., & Ma, Z. (2011). Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioprocess Processing*, 89(2), 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.012>

Yoda, E., & Ootawa, A. (2009). Dehydration of glycerol on H-MFI zeolite investigated by FT-IR. *Applied Catalysis A: General*, 360(1), 66-70. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.03.009>

Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456-480. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>

APÉNDICES

Apéndice A

Descripción del proceso de elaboración de las películas de la mezcla almidón de yuca y gelatina (Y:G)

Etapa	Equipo	Descripción
Recepción de materia prima	-	Todas las materias primas son receptadas (Y, G, GL) y llevadas a su respectiva bodega.
Elaboración de dispersión	Tanques de acero inoxidable con camisa y agitador	Se ingresa Y junto con agua manteniendo una temperatura de 100 °C por 30 min en un tanque mientras que en el otro se agrega G junto con agua manteniendo una temperatura de 80 °C durante 30 minutos.
Mezclado y homogenizado	Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	Ingreso de las dispersiones previamente elaboradas para ser agitadas junto con el aditivo Glicerol
Secado con Estufa	Estufa	El secado de la dispersión se realiza con T:25 °C y HR entre 58 y 60%
Liofilizado	Liofilizador	Eliminado del exceso de agua usando congelación y sublimación
Peletizado y extruido	Peletizadora y extrusor	Una vez obtenido el deshidratado es vertido en la tolva de la peletizadora para obtener el pellet, luego este pasa al extrusor para fundirse. Una pila de rodillos lisos ejerce presión para dar un espesor determinado a la película, luego esta pasa por un enfriamiento con aire forzado y aquí también se encuentran rodillos para ayudar a estirar la película. Finalmente, estas pasan a un enrollador para así formar las bobinas.
Empacado	-	Se realiza de forma manual por el operario

Fuente: elaboración propia

Apéndice B

Funcionamiento, descripción y costos de equipos

Equipo	cantidad	Descripción	Costo por equipo	Costo Total
Tanques de acero inoxidable con camisa y agitador	2	Potencia: 0.75 kW Capacidad: 200 L Marca: Rayen Modelo: RET-4200	\$ 500.00	\$ 1,000.00
Generador de vapor	1	Potencia: 3kW Capacidad: 4Kg/h Marca:Itlay Modelo: LDR	\$ 500.00	\$ 500.00
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	1	Potencia: 0.75kW Capacidad: 200 L Marca:Rayen Modelo:RET-6111	\$ 800.00	\$ 12,000.00
Estufa	1	Potencia: 9 kW Capacidad: 300 L Marca: Kenton Modelo: CT-0	\$ 1,000.00	\$ 800.00
Liofilizador	1	Potencia: 45 kW Capacidad: 500 kg Marca:Huayu Modelo: FD-10R	\$ 15,200.00	\$ 15,200.00
Peletizador	1	Potencia: 15 kW Capacidad:100 Kg/h Marca: Mona Modelo: MNFP-260	\$ 700.00	\$ 700.00
Extrusor	1	Potencia: 75 kW Capacidad: 200 kg/h Marca: Kerke Modelo: KTE50A	\$ 17,800.00	\$ 7,000.00

Fuente: elaboración propia

Apéndice C

Costos de Mano de Obra Directa

Operación	Cantidad de trabajadores	Salario mensual	Factor de cargas sociales	Salario Mensual total	Salario Anual Total
Recepción de materia prima	1	\$386.00	1.4	\$540.40	\$6,484.80
Elaboración de dispersión, mezclado y homogenizado	1	\$386.00	1.4	\$540.40	\$6,484.80
Secado con Estufa	1	\$386.00	1.4	\$540.40	\$6,484.80
Liofilizado	1	\$386.00	1.4	\$540.40	\$6,484.80
Peletizado y extruido	1	\$386.00	1.4	\$540.40	\$6,484.80
Empacado	1	\$386.00	1.4	\$540.40	\$6,484.80
Total				\$3,242.40	\$38,908.80
				0	0

Fuente: elaboración propia

Apéndice D

Costos de Mano de Obra Indirecta

Puesto	Cantidad de trabajadores	Salario mensual	Factor de cargas sociales	Salario Mensual total	Salario Anual Total
Gerente	1	\$1,000.00	1.4	\$ 1,400.00	\$ 16,800.00
Jefe de producción	1	\$800.00	1.4	\$ 1,120.00	\$ 13,440.00
Jefe de calidad	1	\$800.00	1.4	\$ 1,120.00	\$13,440.00
Contadora	1	\$450.00	1.4	\$ 630.00	\$ 7,560.00
Conserje	1	\$386.00	1.4	\$ 540.40	\$ 6,484.80
Guardia	1	\$386.00	1.4	\$ 540.40	\$ 6,484.80
Recursos humanos	1	\$450.00	1.4	\$ 630.00	\$ 7,560.00
Total				\$ 5,980.80	\$ 71,769.60

Fuente: elaboración propia

Apéndice E

Costos de suministros y servicios

Materiales	Unidad	Costo Unitario	Consumo mensual	Costo Mensual	Costo Anual
Internet				\$ 300.00	\$ 3,600.00
Teléfono	min	\$ 0.05	1500	\$ 75.00	\$ 900.00
Agua	m ³	\$ 0.35	112	\$ 39.20	\$ 470.40
Electricidad	kW/h	\$ 0.09	7448	\$ 670.32	\$ 8,043.84
Materiales de limpieza	L	\$ 0.90	75	\$ 67.50	\$ 810.00
Lubricantes	L	\$ 15.35	1.5	\$ 23.03	\$ 276.30
Total				\$1,175.05	\$14,100.54

Fuente: elaboración propia

Apéndice F

Costos de consumo de energía eléctrica

Equipo	Potencia (kW)	Horas	Costo kW/h	Número de equipos	Costo diario	Costo mensual	Costo anual
Tanques de acero inoxidable con camisa y agitador	0.75	8	\$ 0.09	2	\$ 1.08	\$ 32.40	\$ 388.80
Generador de vapor	3	8	\$ 0.09	1	\$ 2.16	\$ 64.80	\$ 777.60
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	0.75	8	\$ 0.09	1	\$ 0.54	\$ 16.20	\$ 194.40
Homogenizador	3	8	\$ 0.09	1	\$ 2.16	\$ 64.80	\$ 777.60
Estufa	9	8	\$ 0.09	1	\$ 6.48	\$ 194.40	\$ 2,332.80
Liofilizador	45	8	\$ 0.09	1	\$ 32.40	\$ 972.00	\$ 11,664.00
Peletizador	15	8	\$ 0.09	1	\$ 10.80	\$ 324.00	\$ 3,888.00
Extrusor	75	8	\$ 0.09	1	\$ 54.00	\$ 1,620.00	\$ 19,440.00
Total					\$ 109.62	\$ 3,288.60	\$ 39,463.20

Fuente: elaboración propia

Apéndice G

Depreciaciones

Equipo	Cantidad	Vida útil	Precio	Precio Total	Valor residual	Depreciación anual
Tanques de acero inoxidable con camisa y agitador	2	10	\$ 500.00	\$ 1,000.00	\$ 100.00	\$ 90.00
Generador de vapor	1	10	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 50.00	\$ 45.00
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	1	10	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 80.00	\$ 72.00
Homogenizador	1	10	\$ 12,500.00	\$ 12,500.00	\$ 1,250.00	\$ 1,125.00
Estufa	1	10	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00	\$ 100.00	\$ 90.00
Liofilizador	1	10	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	\$ 2,500.00	\$ 2,250.00
Peletizador	1	10	\$ 700.00	\$ 700.00	\$ 70.00	\$ 63.00
Extrusor	1	10	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	\$ 2,500.00	\$ 2,250.00
impresora	2	3	\$ 200.00	\$ 400.00	\$ 132.00	\$ 89.33
computadora	2	3	\$ 1,000.00	\$ 2,000.00	\$ 660.00	\$ 446.67
muebles de oficina	3	3	\$ 250.00	\$ 750.00	\$ 247.50	\$ 167.50
Total						\$ 6,688.50

Fuente: elaboración propia

Apéndice H

Mantenimiento y reparación de equipos

Equipo	Cantidad	Vida útil	Precio	Precio Total	costo de mantenimiento anual
Tanques de acero inoxidable con camisa y agitador	2	10	\$ 500.00	\$ 1,000.00	\$ 40.00
Generador de vapor	1	10	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 20.00
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	1	10	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 32.00
Homogenizador	1	10	\$ 12,500.00	\$ 12,500.00	\$ 500.00
Estufa	1	10	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00	\$ 40.00
Liofilizador	1	10	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	\$ 1,000.00
Peletizador	1	10	\$ 700.00	\$ 700.00	\$ 28.00
Extrusor	1	10	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	\$ 1,000.00
impresora	2	3	\$ 200.00	\$ 400.00	\$ 16.00
computadora	2	3	\$ 1,000.00	\$ 2,000.00	\$ 80.00
muebles de oficina	3	3	\$ 250.00	\$ 750.00	\$ 30.00
Total					\$ 2,786.00

Fuente: elaboración propia