

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y

Ciencias de la Producción

"Diseño de un equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua en
películas flexibles"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Multidisciplinario de Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERAS EN ALIMENTOS

Presentado por:

Mildred Elayne Bajaña Loor

Diana Carolina Moreno Avilés

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres: Heriberto Bajaña y Mildred Loor, quienes han esperado ver este logro y han estado conmigo siempre, alentándome a seguir adelante.

A mi esposo: Alberto León, por su amor, apoyo y paciencia, durante todos estos maravillosos años a tu lado.

A mis pequeños sobrinos, quienes con sus ocurrencias, ternura y amor me inspiran cada día.

A mi familia y amigos en general, quienes se regocijan en ver cristalizado este logro.

Mildred Bajaña Loor.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por demostrarme que es fiel, por su infinito amor, por todas las bendiciones recibidas y por nunca dejarme sola, especialmente en los momentos más difíciles.

A mis padres, por su amor, consejos, sacrificios y todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida y carrera; soy lo que soy gracias a ustedes. Los amo.

A mi esposo, amor de mi vida, gracias por creer en mí y por ser mi fortaleza en momentos de debilidad. Te amo.

A la Ph. D. Sandra Acosta por su compromiso y ayuda durante la realización de este trabajo.

A mi compañera Diana, por su invaluable trabajo en la realización de esta meta que nos propusimos.

Mildred Bajaña Loor

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres: Lorena y John por demostrarme su amor luchando cada día por mi bienestar y por apoyarme en cada etapa de mi vida, y a mis abuelos: Julio y Margot por su cariño inmenso, por sus consejos y por su presencia en cada paso que doy.

Diana Moreno Avilés

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen por guiar siempre mis pasos y por haberme dado una hermosa familia que está conmigo en todo momento.

A mis padres y a mis hermanas por brindarme su apoyo y por impulsarme a ser mejor cada día.

A mi abuelito Julio, por su cariño y por estar pendiente siempre de mí.

A mi abuelita Margot, por aconsejarme en todo momento.

A mi tía Paola por ayudarme con su conocimiento cuando lo he requerido a lo largo de toda mi carrera.

A mi enamorado Fernando, por motivarme a seguir adelante a pesar de las dificultades que se presenten.

A mis amigos: Alex, Maite y Gina por ser quienes han estado conmigo en todo momento y me han demostrado su amistad verdadera.

A la Ph.D Sandra Acosta por su dedicación, compromiso y por brindarnos su tiempo durante el desarrollo de este trabajo.

A mi compañera Mildred por su amistad, por su esfuerzo y por todo su empeño para el cumplimiento de esta meta. Fuiste la mejor compañera de tesis que pude tener.

Diana Moreno Avilés

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Mildred Elayne Bajaña Loor

Diana Carolina Moreno Avilés

Ph. D. Sandra Acosta Dávila

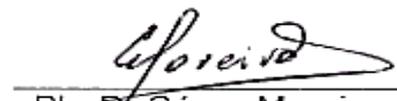
Ph. D. César Moreira Valenzuela

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”.


Mildred Bajaña Loor


Diana Moreno Avilés


Ph. D. Sandra Acosta D.


Ph. D. César Moreira
Valenzuela

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una fórmula que permita obtener películas biodegradables elaboradas a partir de polisacáridos como son los almidones y la gelatina, con la finalidad de ofrecer una alternativa de sustitución a los plásticos convencionales, estas películas biodegradables pueden tener varias aplicaciones y se elaboran por métodos similares a los usados para la fabricación de plásticos. En este trabajo se desarrolló películas poliméricas por el método de casting a partir de almidón de papa (P), yuca (Y) y gelatina (G) al 3% s/t., estas dispersiones fueron combinadas en proporciones 70(35P-35Y) – 30 (G), 50(25P-25Y) - 50(G) y 30(15P-15Y) - 70 (G) adicionando a cada formulación el 30% de glicerol como plastificante, y medidas a dos tiempos de ensayos (7 y 30 días) para saber si se observaban cambios a través del tiempo. Estas formulaciones se caracterizaron en los parámetros de espesor (μm), permeabilidad al vapor de agua ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{KPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) y humedad (%). En cuanto a los valores obtenidos en el parámetro de espesor, podemos indicar que la formulación con menor contenido de gelatina, mantiene los espesores con respecto al tiempo. Por los resultados encontrados se pudo observar, que en las formulaciones mientras mayor es el contenido de gelatina estas son mejor barrera a la permeabilidad al vapor de agua (PVA), ocurriendo lo contrario con el parámetro de humedad, siendo mayor la humedad mientras mayor es el contenido de gelatina a tiempo final del ensayo. Según los resultados obtenidos podemos concluir que la formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ fue la que presentó mejor barrera al vapor de agua y al porcentaje de humedad. Además, se determinó su factibilidad comercial con respecto al precio del plástico convencional.

Palabras claves: gelatina, yuca, papa, espesor, humedad.

ABSTRACT

The present work aims to develop a formula to obtain biodegradable films made from polysaccharides such as starches and gelatine, in order to offer a substitution alternative to conventional plastics, these biodegradable films can have several applications and are made by similar methods to those used for the manufacture of plastics. In this work polymer films were developed by the casting method of potato starch (P), cassava (Y) and gelatin (G) at 3% s / t. These dispersions were combined in proportions 70 (35P-35Y) -30 (G), 50 (25P-25Y) -50 (G) and 30 (15P-15Y) -70 (G) by adding to each formulation 30% glycerol as plasticizer and measured at the test times And 30 days) to see if changes were observed over time. These formulations were characterized in the parameters of thickness (μm), permeability to water vapor ($\text{PVA g}\cdot\text{mm}\cdot\text{KPa}\cdot\text{1}\cdot\text{h}\cdot\text{1}\cdot\text{m}\cdot\text{2}$) and humidity (H%). As for the values presented in the thickness parameter, at final time we result suggested that at higher gelatin content, the thicknesses were lower with respect to time. Based also on the results, it was observed that the water vapor permeability was directly proportional to the amount of gelatin. These fase at higher content of gelatin higher moisture. We can conclude that the formulation (P25 / Y25) -G50 presented the best barrier to water vapor and the percentage of humidity. In addition, their commercial feasibility was determined with respect to the conventional plastic price.

Key words: gelatine, cassava, potato, thickness, moisture.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco Teórico.....	2
CAPÍTULO 2.....	4
2. Metodología	4
2.1 Materias primas.....	4
2.2 Metodología.....	4
2.2.1 Preparación y Acondicionamiento de las Películas Biodegradables.....	4
2.2.2 Caracterización de las Películas.....	5
2.2.2.1 Espesor.....	5
2.2.2.2 Permeabilidad al Vapor de agua (PVA).....	5
2.2.2.3 Humedad.....	6

CAPÍTULO 3.....	7
3. Resultados.....	7
3.1 Espesores.....	7
3.2 Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA).....	8
3.3 Humedad.....	10
3.4 Layout de planta.....	12
3.4.1 Diagrama de flujo.....	13
3.5 Estimación de costos.....	14
3.6 Costos de elaboración.....	16
CAPÍTULO 4.....	18
4. Discusión y Conclusiones.....	18
BIBLIOGRAFÍA.....	20
APÉNDICE	22

ABREVIATURA

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
PVA	Permeabilidad al vapor de agua
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PET	Polietilen-tereflatato
PVC	Cloruro de vinilo
MOD	Mano de obra directa
MOI	Mano de obra indirecta
PVP	Precio de venta al público

SIMBOLOGÍA

P	Almidón de Papa
Y	Almidón de Yuca
G	Gelatina
s/t.	Sólidos totales
p/p	Peso sobre peso
rpm	Revoluciones por minuto
T _i	Tiempo inicial
T _f	Tiempo final
mm	Milímetros
cm	Centímetros
°C	Grados Celsius
ml	Mililitros
%	Porcentaje
P1	Peso de muestra inicial
P2	Peso de muestra final
HR	Humedad relativa
µm	Micras
g	Gramos
Kg	Kilogramos
\$	Dólares
mp	Materia prima
kPa	Kilopascal
h	Horas
m	Metros
kW	Kilovatio
min	Minutos
l	Litros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica de Espesor vs. Tiempo.....	8
Figura 2. Gráfica de PVA vs. Tiempo.....	9
Figura 3. Gráfica de Humedad vs. Tiempo.....	10
Figura 4. Layout de la planta.....	11
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso propuesto.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinaciones y Nomenclatura de las Películas.....	5
Tabla 2. Costos de materia prima de la formulación (P ₃₅ /Y ₃₅)-G ₃₀	13
Tabla 3. Costos de materia prima de la formulación (P ₂₅ /Y ₂₅)-G ₅₀	13
Tabla 4. Costos de materia prima de la formulación (P ₁₅ /Y ₁₅)-G ₇₀	14
Tabla 5. Costos de elaboración: formulación (P ₃₅ /Y ₃₅)-G ₃₀	15
Tabla 6. Costos de elaboración: formulación (P ₂₅ /Y ₂₅)-G ₅₀	15
Tabla 7. Costos de elaboración: formulación (P ₁₅ /Y ₁₅)-G ₇₀	16

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La legislación de los Estados Unidos define al plástico como “un compuesto macromolecular orgánico obtenido por polimerización, policondensación, poliadición u otro procedimiento similar a partir de moléculas o por modificación química de macromoléculas naturales provenientes del petróleo” (Arvanitoyannis et al., 2005). Una de las aplicaciones de los plásticos es la elaboración de envases para alimentos, bebidas y otros productos que son de consumo masivo. Esta industria utiliza diversos tipos de plásticos como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietilen-tereflatato (PET) y cloruro de vinilo (PVC), (Marsh et al., 2007), que presentan características importantes y deseables como la transparencia, propiedades mecánicas, de barrera y estabilidad térmica (Peelman et al., 2013). Sin embargo, los envases elaborados a partir de fuentes no renovables causan un efecto al medio ambiente, ya que no son totalmente reciclables y tardan mucho tiempo en degradarse. Por esta razón se requiere del desarrollo de otras alternativas elaboradas con materiales naturales y que sean biodegradables, pudiendo utilizar para ello biopolímeros; entre las opciones están: los polisacáridos, celulosa, poli-beta-hidroxialcanoatos, ácido poliláctico, entre otros (Elizondo et al., 2011).

1.2 Justificación

Las industrias convertidoras de plásticos y los fabricantes de alimentos, deben de caracterizar las láminas flexibles que utilizan para su producción, en sus propiedades físico-químicas, siendo una de las más importantes la permeabilidad al vapor de agua, ya que contribuye directamente a la determinación del tiempo de vida útil de un producto empacado. Para cubrir este control se utilizan equipos medidores de permeabilidad que existen en el mercado, pero su acceso al mismo es limitado por el alto costo. Considerando esta necesidad, se desarrollará el diseño de un equipo que pueda medir la

permeabilidad al vapor de agua (PVA) de películas flexibles por el método gravimétrico y así ofrecer una solución a un análisis de control de la calidad a un costo accesible. Para que este equipo sea funcional debe ser estandarizado mediante análisis con diferentes estructuras (plásticos/biodegradables) que nos permitan realizar ensayos con la seguridad de los resultados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un equipo que pueda cumplir con el método modificado ASTM E96-95 de medición de permeabilidad al vapor de agua.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Validar a partir de diferentes formulaciones con biopolímeros en el parámetro de PVA.
- Diseñar las formulaciones a partir de biopolímeros (almidón y proteína).
- Caracterizar las películas flexibles en parámetros físicos-químicos.
- Seleccionar la formulación con mejor barrera a la PVA.
- Determinar el costo y la factibilidad de elaboración de la película a nivel industrial.

1.4 Marco teórico

Para la sustitución de plásticos convencionales elaborados a base de petróleo por biodegradables, se requiere del uso de materiales que proporcionen propiedades mecánicas, de barrera, ópticas y térmicas con comportamientos similares a los del derivado de petróleo. Estos materiales pueden ser productos de biomasa como polisacáridos y proteínas (Vieira, et al., 2011); además de aditivos que mejoren sus características finales como son los plastificantes naturales (azúcar, gelatina, sorbitol, etc.).

Los polisacáridos y proteínas tienen una alta interacción entre sus moléculas formando redes moleculares por puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der

Walls, entre otras (Dickinson, 2009). Sus interacciones moleculares le confieren buenas propiedades de formación de la película como dureza, flexibilidad, transparencia y elongación. El almidón es un polisacárido constituido por amilopectina y amilosa, este último componente es el responsable de la capacidad de formación de las películas (Gutiérrez et al., 2015) .Sin embargo, tiene la desventaja de proporcionarle a las películas una baja barrera a la humedad debido a su naturaleza hidrófila. Para mejorar esta desventaja, la adición de una proteína compleja como la gelatina, va a proveer buenas características mecánicas y de barrera (Vieira et al., 2011). Sin embargo, ambas necesitan de la presencia de un plastificante que actúe para mejorar y mantener estas propiedades (Vanin et al., 2005).

Todos los materiales no biodegradables y biodegradables pueden ser procesados por la misma tecnología con la que se elabora los plásticos, siendo uno de los procesos de fabricación el método de casting, este consiste en verter en un molde una dispersión líquida la que es secada al aire por convección por un tiempo, temperatura y humedad establecida, obteniendo una película flexible (Kord et al., 2016).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Materias primas

Las materias primas utilizadas para el presente trabajo son:

- Almidón de Yuca marca La Pradera de Ecuador (Y).
- Almidón de Papa marca Bob Red Mill de USA (P).
- Gelatina de origen bovino 240° Bloom marca Merck (G).
- Glicerina USP marca Merck.
- Reactivo de Nitrato de Magnesio Hexahidratado 99% marca Acros Organics, USA.

2.2 Metodología

2.2.1 Preparación y Acondicionamiento de las Películas Biodegradables

Las películas fueron elaboradas a partir de almidón de papa (P), almidón de yuca (Y) y gelatina (G), al 3% de s/t. Los almidones, fueron disueltos en agua usando un baño maría a 100°C por 30 minutos. La gelatina fue disuelta en agua a 80°C por 30 minutos. A todas las formulaciones se les agregó el glicerol al 30% p/p y se procedió a homogenizar por 6 minutos a 12.000 rpm., posteriormente las dispersiones se colocaron en moldes de teflón para luego ser secados por convección natural y retirados a las 48 horas. Las películas se almacenaron en un desecador con la solución saturada de Nitrato de Magnesio hexahidratado a los 7 días (T_i) y 30 días (T_f) para su caracterización. En la tabla 1 se indica las combinaciones y la nomenclatura usada para las películas realizadas según su formulación.

Tabla 1. Combinaciones y Nomenclatura de las Películas

Combinación (Almidón:Gelatina)	Nomenclatura
(35:35):30	(P ₃₅ /Y ₃₅)-G ₃₀
(25:25):50	(P ₂₅ /Y ₂₅)-G ₅₀
(15:15):70	(P ₁₅ /Y ₁₅)-G ₇₀

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

2.2.2 Caracterización de las Películas

2.2.2.1 Espesor

Para tomar los espesores de las películas, se requirió de la utilización de un micrómetro externo digital de caras planas 0 - 50 mm marca STARRET modelo 733MEXFL-25, el cual es colocado sobre una base marca MITUTOYO. Se tomó el espesor en 6 puntos, en diferentes partes de las películas para obtener el promedio. Los espesores fueron tomados a los dos tiempos de ensayos.

2.2.2.2 Permeabilidad al Vapor de agua (PVA)

El método utilizado para realizar este parámetro (PVA), fue el método gravimétrico ASTM E96-95, para una temperatura de 25°C y una HR de 53-100% (Mchugh, Avena-bustillos, & Krochta, 1993). Las películas fueron montadas en copas de vidrio de 4,9 cm de diámetro, entre la base y la tapa. Para cada película, se realizaron 3 repeticiones; en el interior de las copas, se añadió 15 ml de agua destilada (100% de HR). Las copas fueron introducidas en un desecador equilibrado junto con un ventilador colocado en la parte superior (CPU y S. Tech 12V) con el objetivo de homogenizar la atmósfera. Los desecadores fueron mantenidos en una cámara a una temperatura controlada por medidores (25°C y 58-60% de HR). Se realizó el control del peso con la balanza analítica SHIMADZU modelo AX200 a intervalos de 90 min por un tiempo aproximado de 24 horas. Mediante un análisis de regresión de los datos obtenidos y dividiendo el área de las películas

se pudo obtener la transmisión de vapor de agua de cada repetición y de cada película. Se realizó este ensayo por triplicado a los dos tiempos.

2.2.2.3 Humedad

Se utilizó una estufa Universal marca THERMO y una Balanza Electrónica marca SARTORIUS MODELO ENTRIS. Se colocó 0,5 g de la película previamente reducida de tamaño en las cápsulas de porcelana y luego se mantuvieron en la estufa por 24 horas a 60°C. El ensayo se realizó por triplicado a los tiempos de ensayo. El porcentaje de humedad fue medido hasta obtener peso constante y se calculó por diferencia de pesos con la aplicación de la ecuación (1)

$$\% H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

P1: Peso de muestra inicial

P2: Peso de muestra final

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

Los distintos parámetros evaluados ayudan a obtener información para saber el comportamiento de las películas como espesor, permeabilidad al vapor de agua y humedad (Oregel Zamudio, Aguilar, Oyoque Salcedo, Angoa Pèrez, & Mena, 2016).

3.1 Espesores

En base a los resultados que se muestran en la figura 1, podemos apreciar que los espesores de las formulaciones $(P_{35}/Y_{35})-G_{30}$ y $(P_{15}/Y_{15})-G_{70}$ tienen valores similares a tiempo inicial, a excepción de la formulación $(P_{25}/Y_{25})-G_{50}$ que fue la que presentó el mayor valor de espesor al mismo tiempo de ensayo. La tendencia de los datos muestra que el espesor de las formulaciones $(P_{25}/Y_{25})-G_{50}$ y $(P_{15}/Y_{15})-G_{70}$ disminuyó y se incrementó respectivamente a través del tiempo y presentaron valores de espesores similares a tiempo final. La formulación $(P_{35}/Y_{35})-G_{30}$ es la más estable con respecto a las otras formulaciones, debido a que presenta una tendencia que se la puede considerar constante a través del tiempo. Esto puede deberse a que los enlaces de puentes de hidrógeno no permitieron la salida de agua. Otros autores sostienen que el espesor de las películas tiene una relación directa con la permeabilidad al vapor de agua, por el contenido de agua atrapada entre los enlaces de las células (Al-Hassan & Norziah, 2012). Además, autores señalan que la composición es un factor que determina el espesor final de la película (García, Pinotti, Martino, & Zaritzky, 2009).

Las películas a base de componentes hidrofílicos presentan fenómenos de transporte complejos, como lo observaron (Cortés, Fernández, Mosquera, & Velasco, 2014), obteniendo datos parecidos a los encontrados en este estudio como se muestran en el Figura 1 y 2.

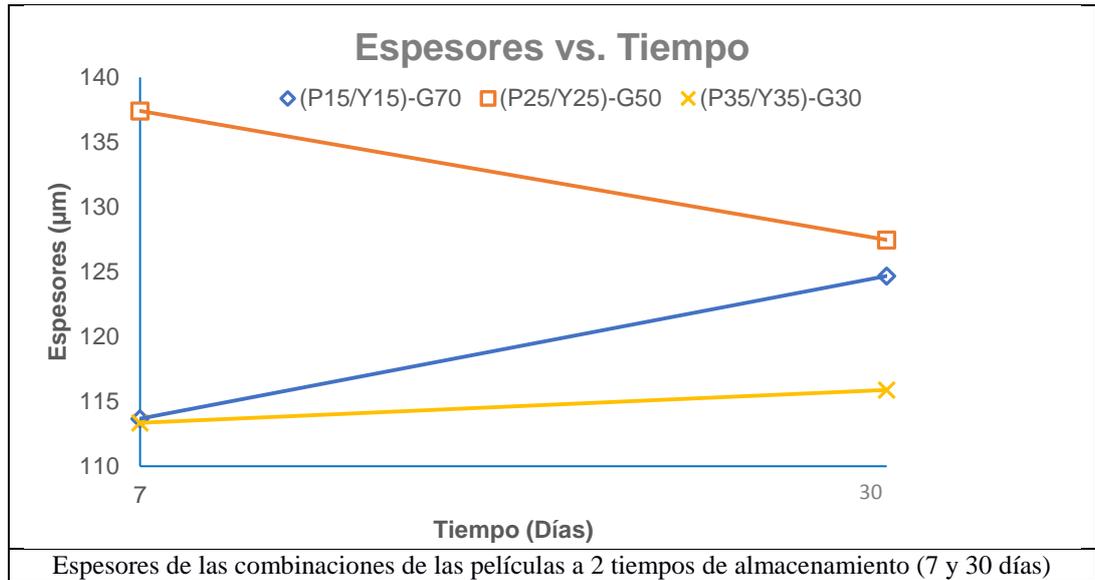


Figura 1. Gráfica de Espesor vs. Tiempo

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

En investigaciones aplicadas en películas comestibles a base de almidones de papa y de yuca obtuvieron valores de espesores de 150 µm y 130 µm respectivamente (Santacruz, Rivadeneira, & Castro, 2015), estos valores son similares a los obtenidos durante el tiempo inicial de ensayo en la formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀. Se considera que la mayoría de las películas comestibles tienen naturaleza hidrofílica, por lo que existe una relación entre los valores de PVA y el espesor de las mismas. En otros estudios realizados se considera que el espesor de las películas y la resistencia a la transferencia de masa son directamente proporcionales, por lo que uno de los parámetros de control es regular el espesor de las películas (Mchugh et al., 1993).

3.2 Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

Los resultados obtenidos en el ensayo de PVA se muestran en la figura 2, a los dos tiempos de ensayo. A tiempo inicial, la formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀, presentó el valor más alto con respecto a las otras formulaciones. Esto nos hace pensar que los porcentajes de almidón y de la gelatina en la formulación influyeron en los resultados de PVA a T_i.

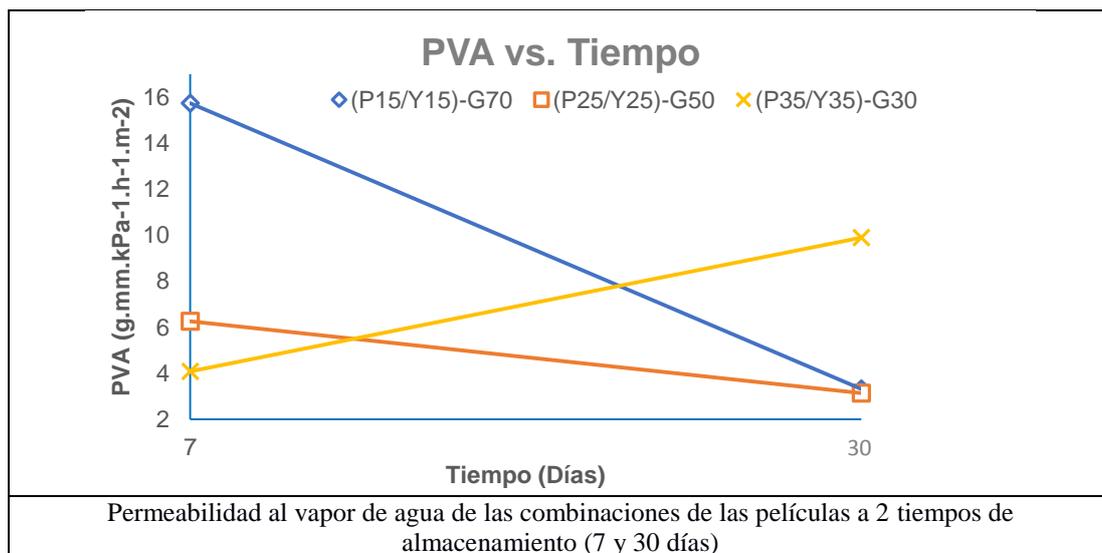


Figura 2. Gráfica de PVA vs. Tiempo

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

Al relacionar los valores de PVA a los dos tiempos de ensayo, se puede observar que las formulaciones (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ y (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ disminuyen a tiempo final. Sin embargo, la formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ es la más estable a través del tiempo, a diferencia de la formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ la cual aumentó a tiempo final siendo de esta manera la más permeable de todas las formulaciones.

Los resultados obtenidos se asemejan a estudios relacionados en una matriz con almidón de maíz, gelatina y glicerol que reflejaron que el aumento de gelatina incrementa el valor de PVA, esto se refleja en los datos encontrados en este estudio a tiempo inicial (Matta Fakhouria, Farayde Martellia, Caonc, Velasco, & Innocentini Meib, 2015). Otros autores sostienen que la gelatina es más higroscópica que el almidón, por lo cual hay una mayor afinidad de las moléculas de agua promulgando su difusión, aumentando así los valores de PVA (Al-Hassan & Norziah, 2012), (Matta Fakhouria, Farayde Martellia et al., 2015).

Estudios anteriores muestran resultados similares en películas de almidón de maíz y gelatina, con un valor de 3.72 g.mm.Kpa-1.h-1.m-2 a tiempo inicial, que se asemeja al resultado obtenido en la formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ en el mismo tiempo de ensayo (Fakhouri et al., 2013). Autores como (Al-Hassan & Norziah, 2012), han realizado estudios sobre la caracterización en el parámetro PVA de películas a base de almidón de yuca y gelatina, obteniendo resultados entre 1,3 y 3,5 g.mm.kPa-1.h-1.m-2, este último se asemeja a los valores obtenidos por las formulaciones (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ y (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ a tiempo final. Todas formulaciones presentaron valores entre 3,14 y 15.74 g.mm.kPa-1.h-1.m-2 tanto a tiempo inicial como a tiempo final, como se encontró en otros estudios(Chang, Cheah, & Seow, 2000).

Es importante destacar la influencia del glicerol en la PVA de las películas: estudios demuestran que al incrementar la cantidad de plastificante en la formulación de películas a base de almidón de yuca, existe un aumento de este parámetro ya que su adición disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero (Sánchez, García, & Pinzón, 2012).

3.3 Humedad

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3, donde a tiempo inicial (T_i), la formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ presentó la humedad más baja a diferencia de la formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ que fue la más alta, lo que podría relacionarse con el porcentaje de la gelatina.

A tiempo final el comportamiento de la formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ fue la que menor valor de humedad presentó, perdiendo mayor cantidad de agua entre sus moléculas, con un comportamiento parecido a la formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀.

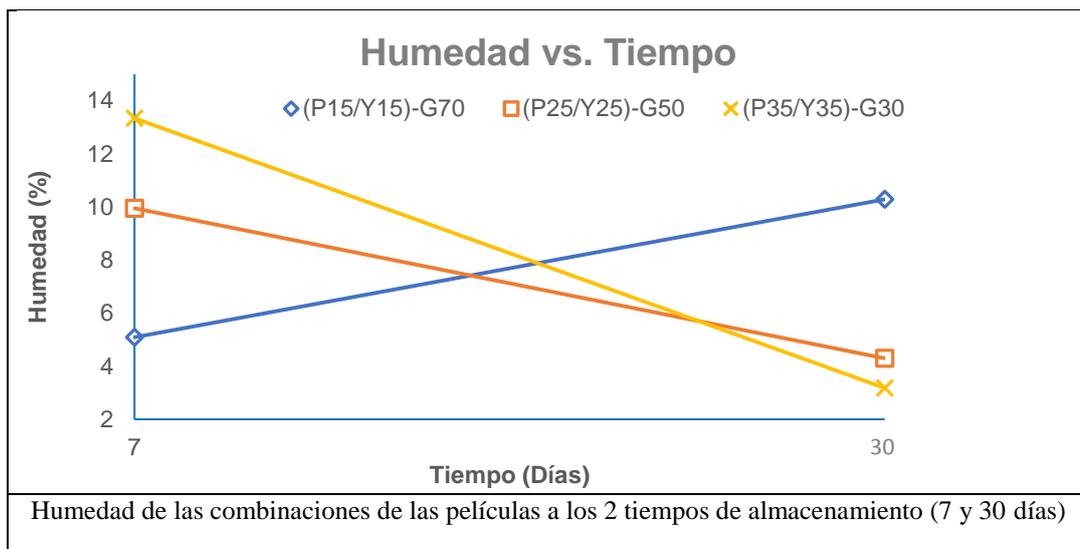


Figura 3. Humedad vs. Tiempo

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

Los autores (Coupland, Shaw, Monahan, Riordan, & Sullivan, 2000), trabajando con películas biodegradables encontraron valores de humedad entre 5-10%, parecidos a los encontrados en este trabajo en la formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀, esto puede deberse al mayor contenido de gelatina en las películas.

3.4 Layout de la planta

El layout de la planta que se muestra en la figura 4 es una propuesta para la elaboración de películas biodegradables.

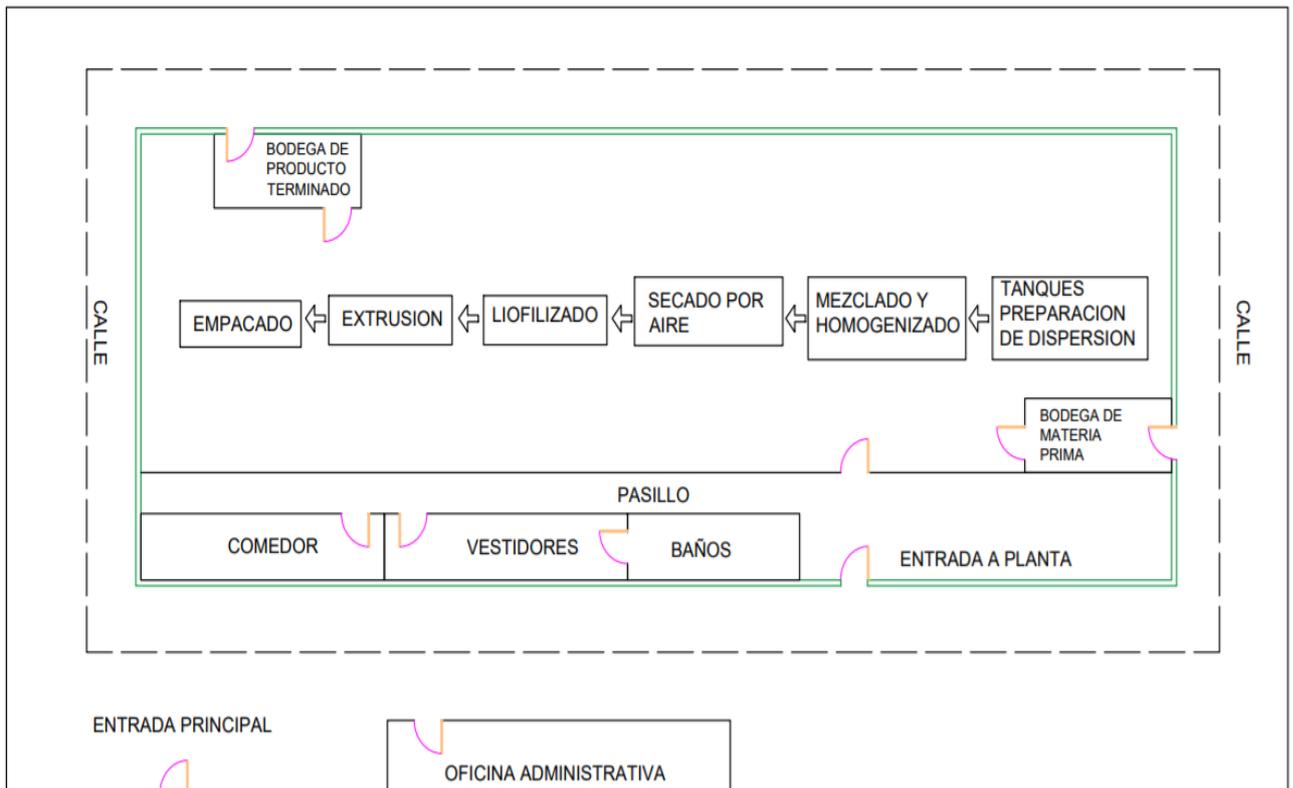


Figura 4. Layout de la planta

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

3.4.1 Diagrama de flujo

En la figura 5 se muestran las etapas del proceso de elaboración de películas biodegradables con sus respectivos parámetros de proceso en caso de que se quiera llevar la formulación diseñada a planta piloto. En el Apéndice A se detalla la descripción del proceso propuesto.

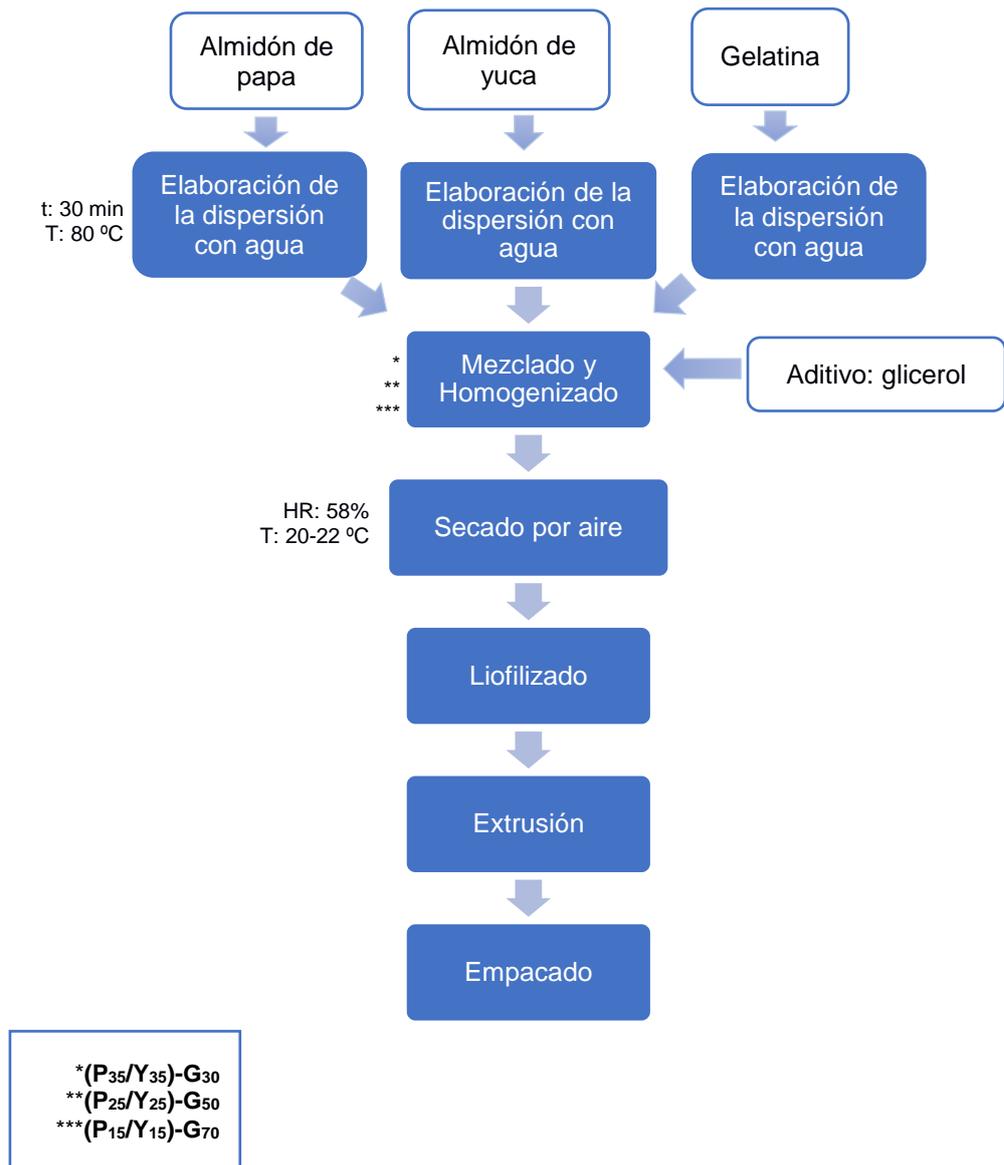


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso propuesto

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

3.5 Estimación de costos

Para determinar si las formulaciones desarrolladas son económicamente factibles, se realizó el análisis de costos. En el Apéndice B, se detallan los equipos necesarios para la elaboración de las películas biodegradables, en la que se estimó una producción de 500 litros/día en 2 batches por ser un producto nuevo y tomando en cuenta las tendencias del mercado actual. Las tablas 2, 3 y 4 muestra los costos por día, mes y año de la materia prima para las formulaciones (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀, (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ y (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ respectivamente.

Tabla 2. Costos de materia prima de la formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀

Materia prima	Costo/kg	Kg de materia prima por día	Costo por día	Costo por mes	Costo por año
Almidón de yuca	\$1,56	5,25	\$8,19	\$163,80	\$1.965,60
Almidón de papa	\$1,30	5,25	\$6,83	\$136,50	\$1.638,00
Gelatina	\$0,95	4,50	\$4,28	\$85,50	\$1.026,00
Glicerol	\$3,63	4,50	\$16,34	\$326,70	\$3.920,40
Agua	\$0,23	500,00	\$1,15	\$23,00	\$276,00
TOTAL			\$36,78	\$735,50	\$8.826,00

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

Tabla 3. Costos de materia prima de la formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀

Materia prima	Costo/kg	Kg de materia prima por día	Costo por día	Costo por mes	Costo por año
Almidón de yuca	\$1,56	3,75	\$5,85	\$117,00	\$1.404,00
Almidón de papa	\$1,30	3,75	\$4,88	\$97,50	\$1.170,00
Gelatina	\$0,95	7,50	\$7,13	\$142,50	\$1.710,00
Glicerol	\$3,63	4,50	\$16,34	\$326,70	\$3.920,40
Agua	\$0,23	500,00	\$1,15	\$23,00	\$460,00
TOTAL			\$35,34	\$706,70	\$8.480,40

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

Tabla 4. Costos de materia prima de la formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀

Materia prima	Costo/kg	Kg de materia prima por día	Costo por día	Costo por mes	Costo por año
Almidón de yuca	\$1,56	2,25	\$3,51	\$70,20	\$842,40
Almidón de papa	\$1,30	2,25	\$2,93	\$58,50	\$702,00
Gelatina	\$0,95	10,50	\$9,98	\$199,50	\$2.394,00
Glicerol	\$3,63	4,50	\$16,34	\$326,70	\$3.920,40
Agua	\$0,23	500,00	\$1,15	\$23,00	\$492,00
TOTAL			\$33.90	\$677.90	\$8.134,80

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

En el Apéndice C y D, se muestra el cálculo de la mano de obra directa e indirecta respectivamente donde fue necesario considerar el factor de carga que representa la remuneración básica impuesta por el estado.

El detalle de los costos de suministros y servicios básicos se puede observar en el Apéndice E. Los costos de consumo de energía eléctrica fueron calculados previamente y se presentan en el Apéndice F. Para determinar los costos diarios, mensuales y anuales se consideró el costo del kW/ hora y se proyecta la potencia requerida por los equipos utilizados en el proceso para una jornada laboral de 8 horas. Los demás servicios fueron estimados a partir de precios y datos referenciales de una industria de plásticos que extruye polietileno de baja densidad sin impresión y sin laminado.

Se realizó el cálculo de la depreciación por el método lineal a partir del valor residual obtenido previamente con el precio total y el tiempo de vida útil de los diferentes equipos de la planta y oficina a 10 años y 3 años respectivamente como se puede observar en el Apéndice G. Además, se calculó los costos anuales de mantenimiento y reparación de los equipos para lo cual se estima un 4% de su precio total como se muestra en el Apéndice H (Baca Urbina, 2010).

3.6 Costos de elaboración

El costo de PVP de las tres formulaciones por Kg de producto se lo muestra en las tablas 5, 6 y 7, el cual fue obtenido con el costo total de producción calculado a partir de los costos directos e indirectos, y los Kg producidos por año aplicando un margen de utilidad del 20% al precio final. En función a los ensayos de laboratorio para cada una de las formulaciones, se obtuvo una propuesta de Kg de peso seco producidos por año, considerando un rendimiento de 40%, 47% y 50% para las formulaciones (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀, (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ y (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ respectivamente.

Tabla 5. Costos de elaboración: formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀

COSTOS DE PRODUCCIÓN	Costo total por año	Kg producidos por año	Precio unitario de producción
MATERIA PRIMA	\$8.826,00	48.000	\$0,18
MOD	\$37.800,00	48.000	\$0,79
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$46.626,00	48.000	\$0,97
MOI	\$59.220,00	48.000	\$1,23
COSTOS DE SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$23.857,98	48.000	\$0,50
DEPRECIACIÓN	\$5.708,17	48.000	\$0,12
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$2.313,20	48.000	\$0,05
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	\$91.099,35	48.000	\$1,90
IMPROVISTOS 2%	\$1.821,99	48.000	\$0,03
TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$139.547,33	48.000	\$2,89
		UTILIDAD 20%	\$0,58
		PVP	\$3,47

Fuente: Bajaan M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

Tabla 6. Costos de elaboración: formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀

COSTOS DE PRODUCCIÓN	Costo total por año	Kg producidos por año	Precio unitario de producción
MATERIA PRIMA	\$8.480,40	56.900	\$0,15
MOD	\$37.800,00	56.900	\$0,66
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$46.280,40	56.900	\$0,81
MOI	\$59.220,00	56.900	\$1,04
COSTOS DE SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$23.857,98	56.900	\$0,42
DEPRECIACIÓN	\$5.708,17	56.900	\$0,10
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$2.313,20	56.900	\$0,04
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	\$91.099,35	56.900	\$1,60
IMPROVISTOS 2%	\$1.821,99	56.900	\$0,03
TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$139.201,73	56.900	\$2,45
		UTILIDAD 20%	\$0,49
		PVP	\$2,94

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

Tabla 7. Costos de elaboración: formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀

COSTOS DE PRODUCCIÓN	Costo total por año	Kg producidos por año	Precio unitario de producción
MATERIA PRIMA	\$8.134,80	59.500	\$0,14
MOD	\$37.800,00	59.500	\$0,64
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$45.934,80	59.500	\$0,77
MOI	\$59.220,00	59.500	\$1,00
COSTOS DE SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$23.857,98	59.500	\$0,40
DEPRECIACIÓN	\$5.708,17	59.500	\$0,10
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$2.313,20	59.500	\$0,04
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	\$91.099,35	59.500	\$1,53
IMPROVISTOS 2%	\$1.821,99	59.500	\$0,03
TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$138.856,13	59.500	\$2,34
		UTILIDAD 20%	\$0,47
		PVP	\$2,81

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las películas biodegradables fueron elaboradas a partir de almidones de yuca y papa con combinación de gelatina, con la finalidad de obtener una película que pueda ser usada para conformar envases o proteger alimentos en la conservación de los mismos.

1. La formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ mantuvo el mismo comportamiento en cuanto a su valor de espesor a los dos tiempos de ensayo con resultados cercanos a 113 μm , lo que indica retención de agua intercelular. La formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ presentó el mismo comportamiento a tiempo inicial, no así a tiempo final.
2. Mientras más contenido de gelatina presentan las formulaciones, la permeabilidad al vapor de agua a tiempo final es más baja. Por lo tanto, la PVA de las formulaciones (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ y (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ fueron de 3,33 y 3,14 g.mm. Kpa⁻¹.h⁻¹.m⁻² respectivamente. La formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ presentó una PVA de 9,90 g.mm.Kpa⁻¹.h⁻¹.m⁻², siendo la más permeable de las tres formulaciones.
3. La formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ fue la que presentó el porcentaje más alto de humedad a tiempo inicial con un valor de 13,35%, pero la más baja a tiempo final con un resultado de 3,18%. Igual comportamiento presentó la formulación (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ con un valor inicial y final de 9,95% y 4,30% respectivamente, esto puede deberse a que durante el tiempo de reposo estas formulaciones siguieron perdiendo agua. La formulación (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ tuvo un comportamiento diferente respecto a las demás presentando un valor inicial de 5,10% y final del 10,29% ganando humedad en el almacenamiento, esto puede relacionarse, a que esta formulación contiene el mayor porcentaje de gelatina.

4. El costo para la elaboración de la formulación (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀, (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ y (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ fue de \$3,47, \$2,94 y \$2,81 respectivamente, siendo costos menores al del kg del plástico convencional correspondiente a \$3,50 aproximadamente, por lo que se puede indicar que es factible su reemplazo comercialmente.

5. Se realizó el diseño del prototipo de un equipo que puede medir la permeabilidad al vapor de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012). Food Hydrocolloids Starch e gelatin edible films : Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 108–117.
- Arvanitoyannis, I., Choreftaki, S., & Tserkezou, P. (2005). An update of EU legislation (Directives and Regulations) on food-related issues (Safety, Hygiene, Packaging, Technology, GMOs, Additives, Radiation, Labelling): Presentation and comments. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(10), 1021–1112.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos* (Sexta Edic). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Chang, Y. P., Cheah, P. B., & Seow, C. C. (2000). Plasticizing – Antiplasticizing Effects of Water on Physical Properties of Tapioca. *Food Engineering and Physical Properties*, 65(3), 445–451.
- Cortés, J. F., Fernández, A. L., Mosquer, S. A., & Velasco, R. (2014). Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustria*, 12(1), 88–97.
- Coupland, J. N., Shaw, N. B., Monahan, F. J., Riordan, E. D. O., & Sullivan, M. O. (2000). Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. *Journal of Food Engineering*, 43, 25–30.
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1473–1482.
- Elizondo, M. C., & Gallo, A. C. (2011). Use of Nanomaterials in Biopolymers for Food. *Rev Soc Quím Perú*, 77(4), 292–306.
- Fakhouri, F. M., Costa, D., Yamashita, F., Martelli, S. M., Jesus, R. C., Alganer, K., ... Innocentini-meij, L. H. (2013). Comparative study of processing methods for starch / gelatin films. *Carbohydrate Polymers*, 95(2), 681–689.
- García, M. A., Pinotti, A., Martino, M. ., & Zaritzky, N. E. (2009). *Characterization of Starch and Composite Edible Films and Coatings*, 35(2), 142-155.
- Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Famá, L. (2015). Corn Starch 80:20 “Waxy”:Regular, “Native” and Phosphated, as Bio-Matrixes for Edible Films. *Procedia Materials Science*, 8, 304–310.
- Kord, B., Malekian, B., Yousefi, H., & Najafi, A. (2016). Preparation and characterization of nanofibrillated Cellulose/Poly (Vinyl Alcohol) composite films. *Maderas. Ciencia Y Tecnología*, 18(4), 743–752.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging - Roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), 39–55.
- 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., Avena-bustillos, F. L., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films : Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*, 58(4), 889–903.
- Oregel Zamudio, E., Aguilar, C. N., Oyoque Salcedo, G., Angoa Pèrez, V., & Mena, H. (2016). Caracterización Físico-Química de películas comestibles a base de cera de candelilla. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosehca*, 17(1), 1–7.
- Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., ... Devlieghere, F. (2013). Review: Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128–141.
- 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.
- Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). The presence of a symbol shows that a factor is significant for a variable. *Food Hydrocolloids*, 20(1), 201-241.
- Vanin, F. M., Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Carvalho, R. A., & Habitante, A. M. Q. B. (2005). Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films. *Food Hydrocolloids*, 19(5), 899–907.
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254–263.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Descripción del proceso de elaboración de las películas biodegradables

Etapa	Equipo	Descripción
Recepción de materia prima	-	Las materias primas: (P), (Y), (G) y glicerol son receiptadas y almacenadas en la bodega de materia prima para ser utilizadas posteriormente.
Elaboración de la dispersión	Tanque de acero inoxidable con camisa de vapor con agitador	Las materias primas: (P), (Y) y (G) junto con agua ingresan a los tanques de acero inoxidable con camisa de vapor para la preparación de la dispersión por separado, a una temperatura de 80°C por 30 min.
Mezclado y homogenizado	Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	Las dispersiones ingresan al tanque de acero inoxidable con paletas de agitación para ser mezcladas junto con el aditivo (glicerol).
	Homogenizador	La mezcla es homogenizada con la finalidad de lograr el rompimiento de células para obtener uniformidad en la dispersión.
Secado	Estufa	Se realiza el secado de la dispersión a una temperatura de 20°C - 25°C, con HR de 58%.
Liofilizado	Liofilizador	Eliminar el exceso de agua mediante congelación y sublimación. Se obtiene el producto granulado.
Extrusión	Extrusor	El producto granulado es colocado en la tolva del extrusor para ser fundido. La pila de rodillos pulidos con superficie lisa ejerce presión sobre la película otorgándole el espesor determinado. La película pasa por la sección de enfriamiento, por rodillos circulando aire forzado, para luego pasar por un enrollador que forma las bobinas.
Empacado	-	Es realizada por los operarios de forma manual.

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE B

Funcionamiento, descripción y costo de equipos

Equipo	Descripción	Costo
Tanques de acero inoxidable con camisa y agitador	Potencia: 1,5 kW Marca: JERSA Modelo: IHAG Capacidad: 150 l	\$840,00
Generador de vapor	Modelo: BR-50 Marca: SIDI Potencia: 28 Kw Volumen de caldera: 30 litros Producción de vapor: 38 kg/h	\$1.200,00
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	Potencia: 1,25 kW Marca: HUNDOM Modelo: HD Capacidad: 500 l	\$650,00
Homogenizador	Potencia: 3 kW Marca: ULTRA TURRAX Modelo: UTS 115KD Capacidad: 500 l	\$12.500,00
Estufa	Potencia: 3 kW Marca: VWR Modelo: IHA Volumen: 155 l	\$500,00
Liofilizador	Potencia: 3 kW Marca: MARYA Modelo: UAG Tasa de succión: 18 – 825 m ³ /h	\$18.000,00
Extrusor	Potencia: 3,8 kW Marca: USEON Modelo: SAT65 Capacidad: 400 – 800 kg/h	\$20.000,00

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE C

Costos de Mano de Obra Directa (MOD)

OPERACIÓN	Cantidad de trabajadores	Salario mensual	Factor de Cargas Sociales	Salario Mensual total	Salario Anual total
Recepción de materia prima	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Elaboración de dispersión	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Mezcla y homogenizado	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Secado por aire	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Liofilización	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Extrusión y empaçado	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
TOTAL MOD				\$3.150,00	\$37.800,00

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE D

Costos de Mano de Obra Indirecta (MOI)

CARGO/PUESTO	Cantidad de trabajadores	Salario mensual	Factor de Cargas Sociales	Salario Mensual total	Salario Anual total
Gerente	1	\$1.200,00	1,4	\$1.680,00	\$20.160,00
Secretaria	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Auxiliar Contable	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
Jefe de Planta	1	\$600,00	1,4	\$840,00	\$10.080,00
Jefe de Calidad	1	\$600,00	1,4	\$840,00	\$10.080,00
Conserje	1	\$375,00	1,4	\$525,00	\$6.300,00
TOTAL MOI				\$4.935,00	\$59.220,00

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE E

Costos de suministros y servicios

Materiales	Unidad	Costo Unitario	Consumo mensual	Costo mensual	Costo Anual
Teléfono	min	\$0,05	1500,00	\$75,00	\$900,00
Agua	m3	\$0,41	112,00	\$45,92	\$551,04
Energía Eléctrica	kW.h	\$0,09	7448,00	\$1.476,72	\$17.720,74
Materiales de limpieza	l	\$0,90	75	\$67,50	\$810,00
Lubricantes	l	\$15,35	1,5	\$23,03	\$276,30
Internet				\$300,00	\$3.600,00
TOTAL DE SUMINISTROS Y SERVICIOS				\$1.988,17	\$23.857,98

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE F

Costos de consumo de energía eléctrica

Equipo	Potencia(kW)	Horas	Costo kW/hora	Costo diario	Costo mensual	Costo anual
Tanques de acero inoxidable con camisa a vapor y agitador	4,5	8	0,09	\$3,24	\$64,80	\$777,60
Generador de vapor	84,0	8	0,09	\$60,48	\$1.209,60	\$14.515,20
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	1,3	8	0,09	\$0,90	\$18,00	\$216,00
Homogenizador	3,0	8	0,09	\$2,16	\$43,20	\$518,40
Estufa	3,0	8	0,09	\$2,16	\$43,20	\$518,40
Liofilizador	3,0	8	0,09	\$2,16	\$43,20	\$518,40
Extrusor	3,8	8	0,09	\$2,74	\$54,72	\$656,64
TOTAL				\$73.84	\$1.476,72	\$17.720,64

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE G

Depreciaciones

EQUIPO	Cantidad	Tiempo de vida útil (años)	Precio	Precio Total	Valor residual	Depreciación anual
Tanque de acero inoxidable con camisa a vapor y agitador	3	10	\$1.500,00	\$4.500,00	\$450,00	\$405,00
Generador de vapor	1	10	\$1.200,00	\$1.200,00	\$120,00	\$108,00
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	1	10	\$650,00	\$650,00	\$65,00	\$58,50
Homogenizador	1	10	\$12.500,00	\$12.500,00	\$1.250,00	\$1.125,00
Estufa	1	10	\$500,00	\$500,00	\$50,00	\$45,00
Liofilizador	1	10	\$18.000,00	\$18.000,00	\$1.800,00	\$1.620,00
Extrusor	1	10	\$20.000,00	\$20.000,00	\$2.000,00	\$1.800,00
Impresoras	1	3	\$110,00	\$110,00	\$36,67	\$24,44
Computadoras	2	3	\$800,00	\$1.600,00	\$533,33	\$355,56
Muebles de oficina	3	3	\$250,00	\$750,00	\$250,00	\$166,67
TOTAL						\$5.708,17

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia

APÉNDICE H

Mantenimiento y reparación de equipos

Equipos	Tiempo de vida útil	Cantidad	Precio	Precio total	Costo de mantenimiento anual
Tanque de acero inoxidable con camisa a vapor y agitador	10	3	\$840,00	\$2.520,00	\$100,80
Generador de vapor	10	1	\$1.200,00	\$1.200,00	\$48,00
Tanque de acero inoxidable con paletas de agitación	10	1	\$650,00	\$650,00	\$26,00
Homogenizador	10	1	\$12.500,00	\$12.500,00	\$500,00
Horno	10	1	\$500,00	\$500,00	\$20,00
Liofilizador	10	1	\$18.000,00	\$18.000,00	\$720,00
Extrusor	10	1	\$20.000,00	\$20.000,00	\$800,00
Impresoras	3	1	\$110,00	\$110,00	\$4,40
Computadoras	3	2	\$800,00	\$1.600,00	\$64,00
Muebles de oficina	3	3	\$250,00	\$750,00	\$30,00
TOTAL					\$2.313,20

Fuente: Bajaña M., Moreno, D. 2017

Elaboración propia



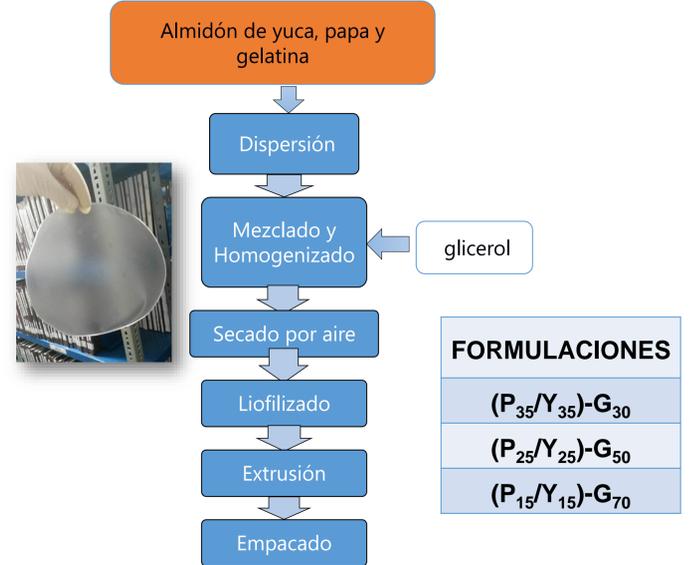
Bajaña, M. Moreno, D. Zúñiga, C. Macías, V.H.

mabajana@espol.edu.ec; dcmoreno@espol.edu.ec; cranzeni@espol.edu.ec; vhmacias@espol.edu.ec

DISEÑO DE UN EQUIPO PARA MEDIR LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA EN PELÍCULAS FLEXIBLES

Materia integradora multidisciplinaria

DIAGRAMA DE FLUJO para la elaboración de las películas



INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto, se diseñó un equipo que permita ejecutar el ensayo modificado ASTM E95-96, para medir la permeabilidad al vapor de agua de películas flexibles. Se dimensionó el área para el equipo así como el material para el mismo, mediante un análisis térmico. Se ejecutaron simulaciones para verificar la distribución de temperatura y humedad en el interior del equipo (25°C - 53% H.R.) las que se controlarán por medio de sensores y se registrará en un ordenador para posterior aplicación en el programa de cálculo de resultados. La PVA, es una de las propiedades para películas bio y no bio degradables que son aplicadas como envases para alimentos ya que se relaciona con el tiempo de vida útil. Para poder medir esta propiedad se necesitan de equipos que son de acceso limitado y costo alto. Es la razón por la que se propone desarrollar el diseño de un equipo que sea capaz de medir la PVA en películas flexibles.

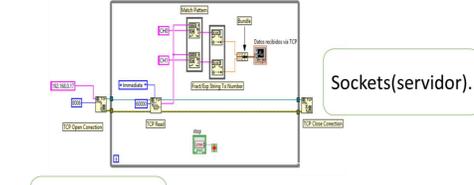
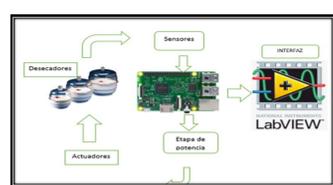
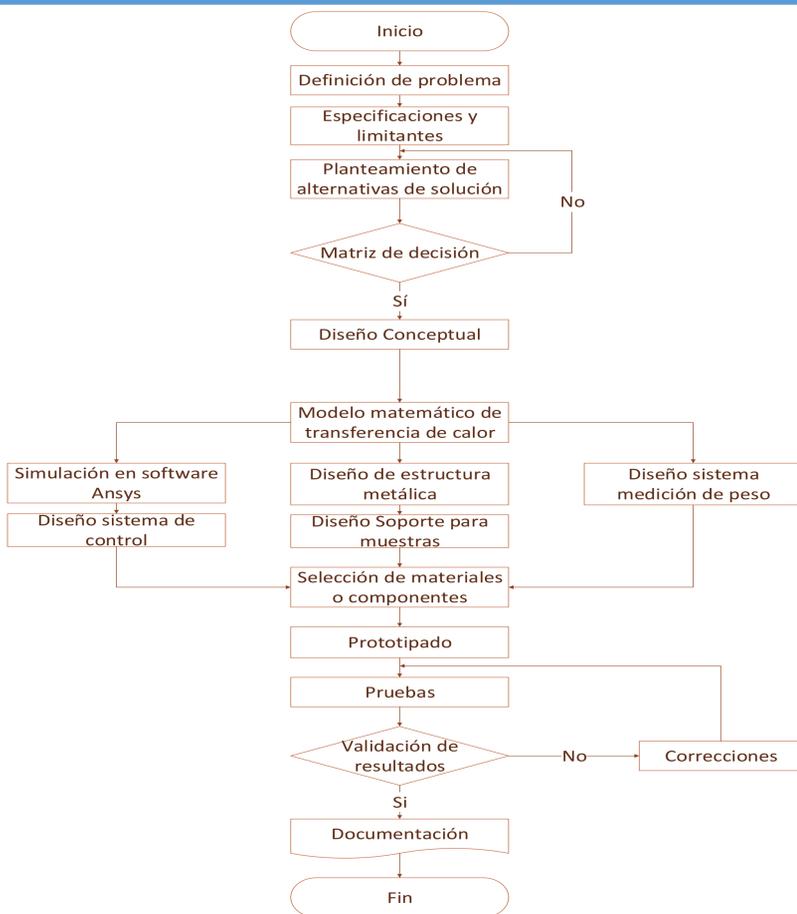
OBJETIVO GENERAL

Diseñar un equipo que pueda cumplir con el método modificado ASTM E96-95 de medición de permeabilidad al vapor de agua.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Diseño de estructura y selección de componentes mecánicos.
- Diseño de la programación del sistema por sensores de control de humedad y temperatura con captación de datos.
- Diseño de diferentes formulaciones biodegradables para ensayos en el equipo.

METODOLOGÍA



Código sensor de humedad Python

```
#!/usr/bin/python
import sys
import smtplib
import time
import socket

def main():
    # Configuración de correo
    host = 'smtp.gmail.com'
    port = 587
    user = 'usuario@gmail.com'
    password = 'contraseña'

    # Mensaje a enviar
    message = """
    De: Usuario <usuario@gmail.com>
    Para: Destinatario <destinatario@gmail.com>
    Asunto: Prueba de correo

    Este es un correo de prueba enviado desde Python.
    """

    # Envío de correo
    s = smtplib.SMTP(host, port)
    s.starttls()
    s.login(user, password)
    s.sendmail('usuario@gmail.com', ['destinatario@gmail.com'], message)
    s.quit()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

Código sensor de Temperatura Python

```
import sys
import time
import RPi.GPIO as GPIO
import Adafruit_DHT

# Configuración de pines
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(23, GPIO.OUT)
GPIO.setup(24, GPIO.IN)

# Configuración de sensor de temperatura
sensor = Adafruit_DHT.DHT22
dht_pin = 24

# Función para leer temperatura y humedad
def read_temp_humid():
    (temp, humid, error) = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, dht_pin)

    if temp is not None:
        print "Temperatura: %s" % temp
    if humid is not None:
        print "Humedad: %s" % humid

    return temp, humid

# Ejecución principal
while True:
    read_temp_humid()
    time.sleep(1)
```

Código activada de resistencia Python

```
import sys
import time
import RPi.GPIO as GPIO
import Adafruit_DHT

# Configuración de pines
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(23, GPIO.OUT)
GPIO.setup(24, GPIO.IN)

# Configuración de sensor de temperatura
sensor = Adafruit_DHT.DHT22
dht_pin = 24

# Función para leer temperatura y humedad
def read_temp_humid():
    (temp, humid, error) = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, dht_pin)

    if temp is not None:
        print "Temperatura: %s" % temp
    if humid is not None:
        print "Humedad: %s" % humid

    return temp, humid

# Ejecución principal
while True:
    read_temp_humid()
    time.sleep(1)
```

RESULTADOS

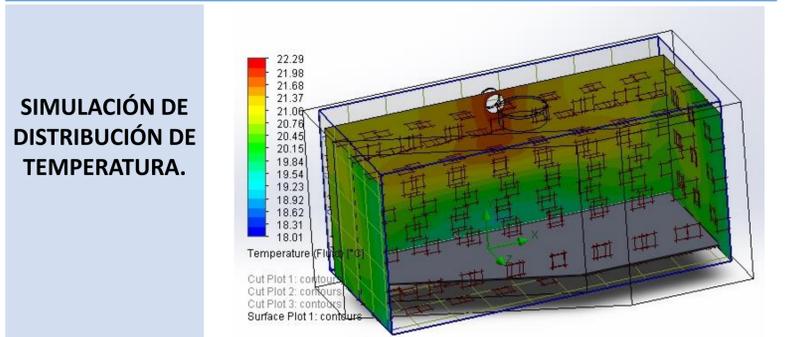
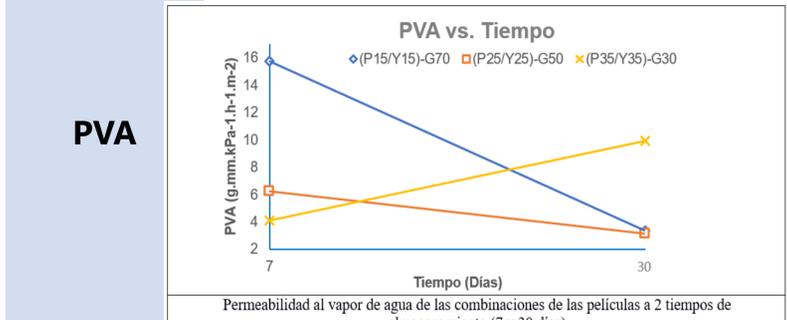
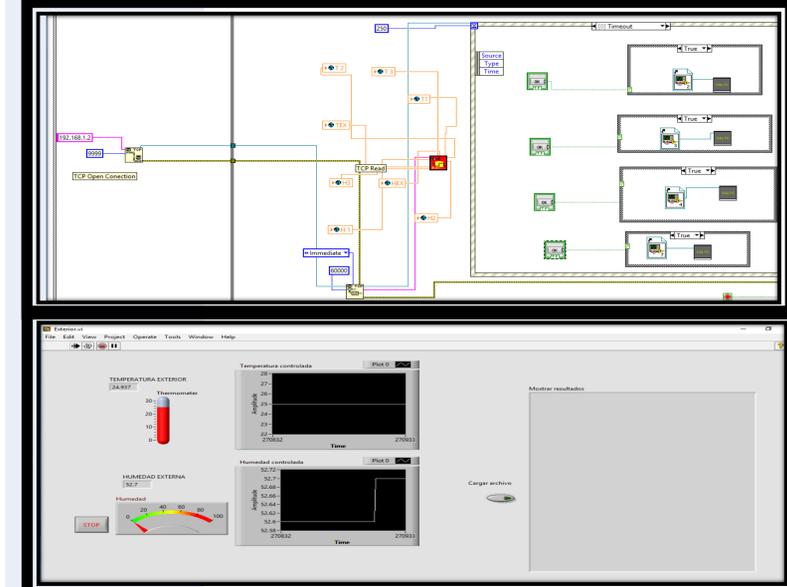


Diagrama de bloques de la programación en Labview, Interfaz del panel de control.



Diseño del prototipo de un equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua.



CONCLUSIONES

- El material seleccionado para el equipo fue acero AISI 304 -2B, mate pulido, por preservar las muestras y la vida útil.
- La potencia necesaria en la resistencia eléctrica se estimó en base a las pérdidas en las paredes, y la energía para calentar el aire en el ambiente, teniendo como resultado una resistencia tubular de 300W, con dimensiones de 20x20cm y 3/8" de diámetro.
- Acorde a las simulaciones, la temperatura se mantuvo entre 22 a 25°C, variando de forma lenta y la humedad 50 a 53% requerido para el ensayo.
- El implementación del sistema mediante Raspberry Pi presentó un correcto funcionamiento durante las pruebas realizadas, permitiendo almacenar información de los ensayos, sin la necesidad de una persona supervisora.
- El espesor de (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀ mantuvo valores similares a T_i y T_f de 113 μm, lo que indica retención de agua intercelular.
- Las formulaciones (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ y (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ presentaron valores de 3,33 y 3,14 g.mm.Kpa⁻¹.h⁻¹.m⁻² respectivamente para PVA.
- El costo de fabricación de (P₃₅/Y₃₅)-G₃₀, (P₂₅/Y₂₅)-G₅₀ y (P₁₅/Y₁₅)-G₇₀ fue de \$3,47, \$2,94 y \$2,81 respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

Mchugh, T. H., Avena-bustillos, F. L., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films : Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*, 58(4), 889-903.
Hibbeler, R. C. (2004). *Mecánica Vectorial para ingenieros. Estática* (Décima ed.). México: Pearson Educación.
Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas. Un enfoque integrado*. México: Pearson.