

**SÍNTESIS DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALCOHOL
POLIVINÍLICO (APV) Y CÁSCARA DE NARANJA Y LA EVALUACIÓN DE SUS
PROPIEDADES MECÁNICAS, TERMOGRAVIMÉTRICAS, DE PERMEABILIDAD
Y DE BIODEGRADABILIDAD.**

**BRAYAN STEEV VELANDIA DUARTE
YENIFHER YEGLEYSA MARTÍNEZ VERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**SÍNTESIS DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALCOHOL
POLIVINÍLICO (APV) Y CÁSCARA DE NARANJA Y LA EVALUACIÓN DE SUS
PROPIEDADES MECÁNICAS, TERMOGRAVIMÉTRICAS, DE PERMEABILIDAD
Y DE BIODEGRADABILIDAD.**

**BRAYAN STEEV VELANDIA DUARTE
YENIFHER YEGLEYSA MARTÍNEZ VERA**

**Trabajo de grado presentado para optar el título de
Ingeniero Químico**

**Director:
GUSTAVO EMILIO RAMIREZ CABALLERO
Ingeniero Químico, PhD**

**Codirectora:
Belkys Polo Carbonell
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Hoy no me queda más sino agradecer inmensamente a DIOS por permitirme culminar este proyecto, no solo de grado sino de vida, agradecer por tantas bendiciones recibidas, por haberme dado la fortaleza y perseverancia necesaria para llegar a este punto. Le agradezco también la bendición que trajo a mi vida con la presencia de mi hijo NICO, el pequeño hombrecito que le dio un sentido a mi existencia, mi norte, por el que absolutamente todo vale la pena, TE AMO HIJO MIO.

Agradezco a mis padres Joseluis Martínez Tarazona y Rosalina Vera Rueda, por su incondicional apoyo, por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera profesional y por su deseo incansable de verme cumplir esta meta.

Agradezco también a Carlos Iván Lizcano, por ser mi compañía y apoyo cuando más lo necesitaba, por darme mucha felicidad y ser mi barita de apoyo en los más duros momentos, por su incondicionalidad, por toda su presencia en mi vida.

Agradezco a cada una de las personas que se cruzó en mi camino durante todo este largo trayecto, aquellas que me trajeron buenas y malas experiencias haciéndome la persona que soy hoy. A mis grandes amigos: Paola Bayona, Diana Cohecha, Lizeth Medina, que siempre me acompañaron, brindándome su apoyo, en los buenos y malos momentos.

Agradezco a mi compañero de tesis y amigo Brayan Steev Velandia por su compañía, complicidad, su paciencia y la valentía con la que pudimos enfrentar este reto.

Al Profesor Gustavo Ramírez y a la ingeniera Belkys Polo por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto, por creer en esta idea y así mismo, por cada palabra y cada gesto que nos hicieron crecer profesionalmente y académicamente.

YENIFHER YEGLEYSA MARTINEZ VERA

DEDICATORIA

En primera medida quiero darle mil gracias a mi señor y redentor, por haberme permitido llegar a este punto, por haber sido mi fuerza en los momentos de debilidad y por ser aquel que me sostuvo cuando decaía.

A mis padres Armando y Smith por ser aquellos seres maravillosos que me guiaron y cuidaron durante cada paso que he dado como verdaderos amigos y sobre todo por ser grandes ejemplos a seguir.

A mis abuelas Flor de María e Isabel por ser aquellas madres que guiaron con amor y caprichos cada una de mis ocurrencias.

A mis tías Genny, Alba, Janeth y Belcy, por ser perfectas confidentes e impulsoras de este proyecto y de cada una de las metas que he cumplido y cumpliré en mi vida.

A aquella persona que me acompañó en el transcurso de este proceso compartiendo alegrías y tristezas, risas y llantos, glorias y derrotas como verdadera compañía de vida. A mis amigos Cristhian, Mayerly, Karina y Paola quienes fueron grandes personajes que alentaron cada locura y fueron confidentes en momentos de necesidad.

A mi compañera Yenipher porque realmente sin ella este proceso no hubiera sido culminado con éxito.

Al profesor Gustavo Emilio Ramírez y la ingeniera Belkys Polo por haber creído en nosotros, ser partícipe de este proyecto y guiarnos con sus conocimientos.

Pero sobre todo, dar gracias a mi gordo hermoso, que aunque me prometiste estar aquí junto a mí en este momento, Diosito no lo permitió y espero estés orgulloso de que formaste un gran ingeniero y una gran persona. Nunca me abandones abuelo querido

TEAMO.

BRAYAN STEEV VELANDIA DUARTE

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por ser nuestro motivo de lucha, a nuestros padres, hermanos, tíos, compañeros y demás parientes que aportaron su granito de arena para que este proyecto se hiciera posible.

Al profesor Gustavo Ramírez y a la ingeniera Belkys Polo por ser aquellos que confiaron inicialmente en este proyecto y en nuestras personas para el desarrollo del mismo abriendo las puertas del grupo de investigación en polímeros GIP.

A la Universidad Industrial de Santander y cada una de las personas que con sus palabras lograron impulsarnos y mejoraron las ganas de completar este gran camino que finaliza y los próximos que iniciaremos.

"No son los golpes ni las caídas las que hacen fracasar al hombre; sino su falta de voluntad para levantarse y seguir adelante"

Anónimo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1.METODOLOGÍA	20
1.1.RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES...	20
1.2.SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y SÍNTESIS DEL PRODUCTO	22
1.2.1.Películas Sintéticas.....	22
1.2.2.Películas Con Cáscara De Naranja Sin Filtro	23
1.2.3.Películas Con Cáscara De Naranja Con Filtro	23
1.3.CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO	24
1.3.1.Pruebas Mecánicas	24
1.3.2.Prueba Termogravimétrica.....	25
1.3.3.Prueba Permeabilidad Al Vapor De Agua	25
1.3.4.Prueba De Biodegradabilidad	26
2.ANALISIS DE RESULTADOS.....	27
2.1.SÍNTESIS DE LAS PELÍCULAS BIODEGRADABLES	27
2.2.DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LAS PELÍCULAS	28
2.3.PRUEBAS MECÁNICAS	28
2.3.1.Tensión	29
2.3.2.Módulo De Young	30
2.3.3.Elongación	31
2.4.PRUEBAS TERMOGRAVIMÉTRICAS	32
2.5.PRUEBA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	33
2.6.PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD	34

3.CONCLUSIONES	36
4.RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	42
ANEXOS	44

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología... ..	20
Figura 2. Comportamiento de la tensión de las películas en el tiempo.	299
Figura 3. Módulo de Young de las películas en el tiempo.....	311
Figura 4. Porcentaje de elongación de las películas biodegradables en el tiempo.....	322
Figura 5. Prueba TGA para los 7 tipos de películas biodegradables	333
Figura 6. Velocidad de transmisión de agua de las películas biodegradables.	344
Figura 7. Porcentaje de pérdida en peso de las películas biodegradables.	344

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Componentes usados para la elaboración de películas biodegradables.....	444
Anexo B. Composiciones de las materias primas en las películas biodegradables.....	522
Anexo C. Temperatura promedio del municipio de piedecuesta (santander).....	566
Anexo D. Pruebas mecánicas.....	588
Anexo E. Pruebas termogravimétricas.....	66
Anexo F. Pruebas permeabilidad de vapor de agua	7070
Anexo G. Propiedades Mecánicas de diferentes materiales.....	75

RESUMEN

TITULO: SÍNTESIS DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALCOHOL POLIVÍNILICO (APV) Y CÁSCARA DE NARANJA Y LA EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS, TERMOGRAVIMÉTRICAS, DE PERMEABILIDAD Y DE BIODEGRADABILIDADⁱ.

AUTORES: YENIFHER YEGLEYS MARTINEZ VERAⁱⁱ
BRAYAN STEEV VELANDIA DUARTEⁱⁱ

PALABRAS CLAVES: películas biodegradables, APV, biodegradabilidad, residuo agroindustrial, casting.

DESCRIPCION:

Los plásticos biodegradables, son materiales compuestos por una matriz polimérica y un residuo agroindustrial, los cuales están en proceso de investigación debido a que presentan propiedades similares al plástico sintético con la diferencia que son amigables con el medio ambiente, al poseer cortos tiempos de vida media y por ende baja acumulación de sólidos en los sitios de disposición final. En el presente proyecto, se sintetizó películas biodegradables con base a alcohol polivinílico, gelatina comercial, benzoato de sodio, glicerol y cáscara de naranja siguiendo el método casting o vaciado en placa mediante mezclado magnético, mezclado mecánico y posteriormente curado en cajas Petri a temperatura ambiente del municipio de Piedecuesta, Santander, con variaciones en la cantidad de APV y el residuo agroindustrial realizando mediciones de sus propiedades mecánicas, termogravimétricas, de permeabilidad al vapor de agua y de biodegradabilidad.

Una vez finalizó el proceso de curado, se obtuvo películas biodegradables con características cualitativas y cuantitativas considerables similares a los plásticos sintéticos, con buena apariencia y así mismo con buenas propiedades mecánicas, térmicas, de barrera al vapor de agua y alta biodegradabilidad en comparación con las obtenidas en la literatura, las cuales convierten a estos materiales en idóneos para reducir el efecto ambiental que causa la producción de plásticos en la actualidad.

ⁱ Trabajo de grado

ⁱⁱ Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, Director: Ramírez Caballero Gustavo Emilio.

ABSTRACT

TITLE: SYNTHESIS OF BIODEGRADABLE FILMS FROM POLYVINYL ALCOHOL (PVA) AND ORANGE PEEL AND EVALUATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES, THERMOGRAVIMETRICS, PERMEABILITY AND BIODEGRADABILITYⁱ.

AUTHORS: YENIFHER YEGLEISA MARTINEZ VERAⁱⁱ
BRAYAN STEEV VELANDIA DUARTEⁱⁱ

KEYWORDS: Biodegradable films, PVA, biodegradability, agro industrial waste, casting.

DESCRIPTION:

Biodegradable plastics are materials compounded by a polymer matrix and an agro-industrial remnant, which are under investigation due to its properties similar to the synthetic plastic with the difference that they are environmentally friendly, with short half-lives and consequently low accumulation of solids disposal sites. In this project, we synthesized biodegradable film based on polyvinyl alcohol, gelatin, sodium benzoate, glycerol and orange peel performed following the casting method using magnetic mixing, mechanical mixing, and then cured in petri dishes at room temperature in the municipality of Piedecuesta, Santander, with variations in the amount of PVA and the agro- industrial remnant performing measurements of mechanical properties, thermal, water vapor permeability and biodegradability.

Once completed the curing process, biodegradable films were obtained with considerable qualitative characteristics similar to synthetic plastics, with good appearance and also with good mechanical, thermal, barrier properties to water vapor and high biodegradability in comparison with those obtained in the literature, which were analyzed as to their utility making these materials suitable to reduce the environmental effect that causes the production of plastics today.

ⁱ Degree Project

ⁱⁱ Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Ramirez Caballero Gustavo Emilio

INTRODUCCIÓN

Los productos usados por el ser humano tales como envases, bolsas, empaques de productos o diferentes utensilios, en su mayoría son hechos de plásticos. Estos son polímeros sintéticos que gracias a sus propiedades como resistencia mecánica, elasticidad, entre otros; los convierten en materiales idóneos para la fabricación de múltiples productos con diferentes aplicaciones. Sin embargo, estos presentan una desventaja desde el punto de vista biodegradable, ya que cuando los plásticos son utilizados y posteriormente desechados, se convierten en residuos poco favorables con el medio ambiente, debido a que poseen largo tiempo de descomposición (de 100 hasta 1000 años en degradarse por completo para el caso de las botellas de plástico, vasos desechables, bolsas, entre otros [1]) generando así un alto impacto ambiental en el manejo de residuos.

Existen 5 familias de plásticos que representan un 74% de la demanda en Europa; los cuales son el polietileno de alta (PEAD) y de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poli estireno (PS) y polietilentereftalato (PET), los cuales constituyen en su mayoría los principales residuos plásticos que pueden ser reciclados y recuperados. Según informes de *Plastics Europe*, la demanda de las empresas transformadoras de plásticos en Europa alcanzó los 46,4 millones de toneladas en 2010 y la producción alcanzó los 57 millones de toneladas para el mismo año, de los cuales 24,7 millones de toneladas de los plásticos transformados acaba todos los años como residuos post-consumo y que año tras año se ve un aumento significativo. De estos residuos 10,4 millones de toneladas no se recuperaron y 14,3 fueron recuperados por medio del reciclaje, convertidos en otros productos o recuperados para la producción de energía [2].

Para el año 2014, según información reportada por la misma empresa, a nivel mundial la producción de plásticos es de 311 millones de toneladas, siendo China

el mayor productor de materiales plásticos con 26% de producción, seguido de Europa con 20% (59 millones de toneladas), NAFTAⁱ con 19%, Asia con 16%, Medio este y África con 7%, América Latina con 5%, Japón con 4% y CEIⁱⁱ con 3%. De los 59 millones que corresponden a la producción en Europa, 25,8 millones de toneladas termina como residuos plásticos post-consumo, de los cuales el 69,2% se recuperó por procesos de reciclado y recuperación de energía y el 30,8% quedaron como residuos sin recuperarse, yendo directamente a vertederos como basura [3].

Estos datos permiten observar cómo la demanda y producción de plásticos en la industria genera un alto impacto ambiental; aunque se emplean métodos de recuperación, sigue existiendo un porcentaje considerable de residuos post-consumo de difícil manejo. Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), “entre el 22 y 43% de todo el plástico usado termina en vertederos, desaprovechándose como recurso, ocupando grandes cantidades de espacio y contaminando el medio ambiente” [4].

Con la intención de aportar a la disminución de cantidad de residuos plásticos post-consumo surgen nuevas alternativas; una de ellas, es el uso de plásticos o películas biodegradables elaborados en base a componentes orgánicos que aporten propiedades similares al plástico sintético, para obtener un material que al ser desechado se degradará disminuyendo el impacto que puedan generar sus residuos en el medio ambiente. Estos son materiales compuestos formados por una matriz continua, elaborada en base a polímeros de origen animal, marino, agrícola y/o microbiano. Tienen como principal característica el factor

ⁱ En inglés *North American Free Trade Agreement*, acuerdo regional entre los gobiernos de Canadá, de los Estados Unidos y de México para crear una zona de libre comercio, con un costo reducido para el intercambio de bienes entre los tres países.

ⁱⁱ *Comunidad de Estados Independientes*, organización supranacional compuesta por 10 de las 15 exrepúblicas soviéticas.

biodegradable que adquieren gracias a sus componentes, ya que al ser biopolímeros se degradan fácilmente por la acción de microorganismos tales como bacterias, hongos, levaduras y enzimas los cuales consumen sustancias poliméricas como fuente de alimento, causando que la composición inicial de la película biodegradable cambie y desaparezca con el tiempo. Para que exista esta biodegradación son necesarias ciertas condiciones de humedad, pH, temperatura y la cantidad de oxígeno disponible [5].

En la formación de las películas biodegradables se hace necesaria la presencia de ciertos componentes que permiten su cohesión y estabilización, los cuales son en primera instancia la matriz polimérica formada por biopolímeros (polisacáridos, proteínas y lípidos) y algunos componentes adicionales que se utilizan para mejorar las propiedades de las películas como los agentes plastificantes y conservantes. Otros agentes son de entrecruzamiento, de textura, antioxidantes o antimicrobianos, usados por ejemplo en la elaboración de empaques activos o inteligentes para la conservación de alimentos [6].

Los componentes presentes en los plásticos biodegradables son hechos en base a polímeros naturales como los polisacáridos (el almidón, celulosa, quitosano y algunos alginatos); los lípidos (ceras, ácidos grasos y Mono glicéridos) y las proteínas (colágeno, queratina, gelatina, gluten de maíz, trigo, leche o soya). Por otra parte, se pueden sintetizar plásticos biodegradables a partir de polímeros de origen microbiano obtenidos por vía fermentativa como el ácido poli láctico (PLA), polímero derivado del ácido láctico; el polihidroxi alcanoato (PHA), producido por *Pseudomonas aeruginosa*, y el polihidroxibutirano (PHB). Estos son polímeros naturales con alto potencial, abundantes que pueden moldearse y tener propiedades similares a los plásticos sintéticos (**Anexo A**) [7].

Estudios previos realizados por diferentes investigadores encontraron que:

Alemán Huerta, Galán Wong, Morales Ramos, & Arévalo Niño elaboraron películas biodegradables utilizando cáscara de naranja, pectinas y alcohol polivinílico, a las cuales se midieron sus propiedades fisicomecánicas, de solubilidad y biodegradabilidad en el suelo, elaboradas por la metodología *casting* o vaciado en placa, donde encontraron que en un lapso de 60 días de exposición de las películas en tierra de jardín, se evidenciaba porcentajes de pérdida entre el 20-90% y después de 90 días difícil de recuperar [8].

Arévalo Niño, Alemán Huerta, Rojas Verde, & Morales Rodríguez en 2010, elaboraron películas activas biodegradables mediante el proceso de *casting* o vaciado en placa, a partir de residuos cítricos (cáscara de limón), pectina, alcohol polivinílico (APV) y benzoato de sodio. A estas películas se les realizó un estudio del efecto del benzoato de sodio y del espesor de las películas en las propiedades fisicomecánicas y de barrera, obteniendo como resultados películas activas biodegradables de apariencia homogénea, ligeramente opaca y flexible, de modo que se encontraron propiedades óptimas para el uso de estas en la fabricación de empaques activos [9].

Sánchez Aldana, Contreras-Esquivel, Aguilar, & Nevárez-Moorillón en 2015, prepararon películas por el método de casting, teniendo como materias primas el extracto péptico de bagazoⁱ y pomazaⁱⁱ de limón mexicano, glicerol como agente plastificante y aceite esencial de limón mexicano. Caracterizando estas películas obtuvieron que a altas concentraciones de pectina y bajas concentraciones de glicerol se pueden obtener mejores propiedades de permeabilidad al vapor de agua y resistencia del material [6].

ⁱ Producto obtenido después de la extracción del jugo de limón, incluyendo sus semillas.

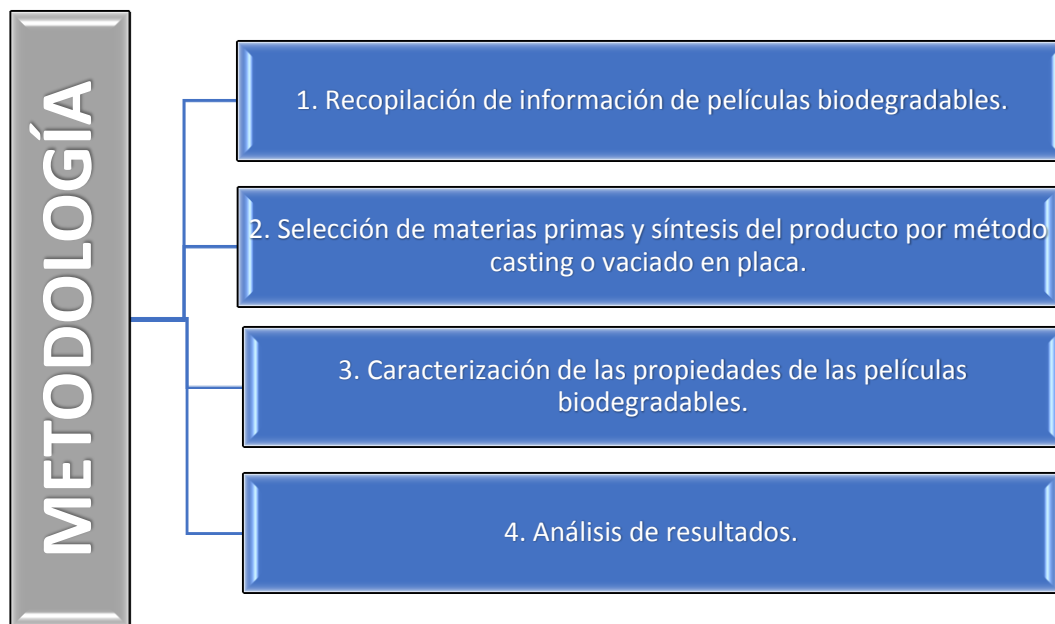
ⁱⁱ Bagazo de limón sometido a diversos procesos de lavado y blanqueado.

Con base en lo anterior, en el presente proyecto se planteó como principal objetivo sintetizar películas biodegradables elaboradas a partir de alcohol polivinílico (APV), gelatina comercial y cáscara de naranja, analizando y evaluando sus propiedades mecánicas, termogravimétricas, de permeabilidad al vapor de agua y de biodegradabilidad. Para tal fin, se recopiló información necesaria sobre la síntesis de películas biodegradables, sus componentes y características. Posteriormente, se sintetizaron las películas biodegradables con los componentes seleccionados usando el método casting y por último se caracterizaron las películas biodegradables elaboradas, evaluando sus propiedades por medio de pruebas ya anteriormente mencionadas.

El presente proyecto consiste en tres etapas, inicia con el procedimiento experimental realizado para sintetizar películas biodegradables mediante el método *casting* y caracterizarlas estudiando sus propiedades mecánicas, termogravimétricas, de permeabilidad al vapor de agua y de biodegradabilidad. Luego se pretende analizar los resultados obtenidos a partir de la medición de sus propiedades. Y para finalizar, se concluirá sobre los resultados obtenidos pertinentes para culminar el trabajo.

1. METODOLOGÍA

Figura 1. Metodología.



1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES

Como se mencionó anteriormente, las películas biodegradables deben tener una matriz continua para tener un óptimo desempeño en su aplicabilidad. Basados en lo anterior, se hace énfasis en que la estructura de dichas películas debe tener un compuesto principal capaz de formar una mezcla que presente cohesión, la cual pueda ser obtenida de recursos naturales ya sea de la biomasa, de biomonomeros, de compuestos bacterianos, entre otros [10]. Es por ello, que según la literatura se pudo identificar 6 componentes principales en las películas biodegradables los cuales son:

- **Polímero:** Es el componente que forma la matriz, cuya función es emulsificar la mezcla y formar enlaces hidrofílicos en la misma. Al escoger un buen polímero o biopolímero se puede obtener altas fluctuaciones en las propiedades finales de las películas biodegradables.
- **Plastificante:** Es base esencial en la mezcla debido a que mejora la integridad de las películas otorgando propiedades como flexibilidad, elongación y resistencia a la rotura. Este compuesto debe ser escogido según la afinidad que posea con el polímero para evitar pérdida por difusión en el medio o migración de este a un extremo del material [10].
- **Solvente:** Es el componente encargado de la recepción de todos los solutos en la mezcla; es de gran importancia ya que es allí donde se da el rompimiento de enlaces del polímero para posteriormente ser regenerado formando la matriz polimérica.
- **Agente Gelatinizante:** Es el componente encargado de otorgar a la película propiedades de permeabilidad a gases y al vapor de agua. A su vez, este agente confiere mayor deformación al material y debe ser escogido de acuerdo a la afinidad que presente tanto con el polímero como con el plastificante.
- **Residuo Agroindustrial:** Es el componente encargado de otorgar la biodegradabilidad al material. Esta se caracteriza por ser una sustancia orgánica la cual debe estar presente en la vida cotidiana y ser de fácil acceso.
- **Conservante:** Es la sustancia que inhibe o disminuye la actividad microbiana y el proceso de descomposición del residuo agroindustrial, ya que se requiere que este tenga un tiempo de vida media considerable para la producción, comercialización y uso del material.

1.2. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y SÍNTESIS DEL PRODUCTO

Las películas biodegradables tienen componentes esenciales, estos fueron seleccionados de acuerdo a la afinidad presente entre ellos y son nombrados a continuación:

- Alcohol polivinílico (APV) de origen comercial como emulsificante al 96% obtenidos de la empresa SUQUIN LTDA.
- Glicerol como plastificante de origen comercial marca MERCK AL 85%.
- Agua desionizada como solvente.
- Gelatina de origen comercial como agente gelatinizante.
- Cáscara de naranja como residuo agroindustrial.
- Benzoato de sodio como conservante de origen comercial al 99% de la empresa SUQUIN LTDA.

1.2.1. Películas Sintéticas: Estas películas fueron sintetizadas según las cantidades de materias primas mostradas en las Tablas 1, 2 y 3 del ANEXO B. El agua fue calentada en una plancha de calentamiento (Marca Heildoph Instruments) con agitación magnética a 500 rpm hasta alcanzar una temperatura de 60°C; posteriormente se le adiciona el APV y se cambia a un agitador mecánico a 140 rpm (Marca Heildoph Instruments serie RZR2041) donde son adicionados los otros componentes según las mismas tablas.

Una vez finalizado este proceso, se vertió la mezcla siguiendo el método casting en 2 cajas Petri de plástico con un diámetro de $8,6 \pm 0,1$ cm en cantidades iguales las cuales fueron lavadas previamente. Los recipientes fueron dejados a temperatura ambiente (Temperatura del municipio de Piedecuesta, Santander) donde se realizó el curado en lapso de 3 a 4 días. (Véase ANEXO C).

1.2.2. Películas Con Cáscara De Naranja Sin Filtro: Para las películas biodegradables se implementó cáscara de naranja como residuo agroindustrial para observar las cualidades que esta pudiera otorgar al material. Por esto, las cáscaras de naranja fueron lavadas para retirar todo tipo de residuos y raspadas en su interior, retirando la pulpa y las membranas. Posteriormente, se secaron en un horno (Marca WTB Blinter) de convección forzada a 100°C por 24 horas y finalmente fueron molidas y tamizadas en un molino de cuchillas (Marca Wiley Mill standard model No. 3) con tamiz de 1 mm.

Una vez se tiene el residuo molido se inicia el proceso de síntesis donde el agua fue calentada hasta alcanzar los 60°C; posteriormente, se adicionó la cáscara de naranja y se dejó agitar por 10 minutos. Transcurrido este tiempo, se adicionó el APV y finalmente el resto de materias primas según Tabla 4 y 5 de ANEXO B mezclándose en el agitador mecánico a 140 rpm realizando el proceso de casting mencionado anteriormente.

1.2.3. Películas Con Cáscara De Naranja Con Filtro: En el caso de las películas con filtro, se realizó siguiendo la metodología del inciso 1.2.2. a diferencia que al pasar los 10 minutos de adicionada la cáscara de naranja, la mezcla se pasó por un filtro de tela y posteriormente se adicionó el APV continuando con el procedimiento hasta realizar el curado. Para observar las cantidades y tiempos de adición de cada película ver Tablas 6 y 7 de ANEXO B.

1.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO

Para la caracterización de las películas sintetizadas se realizaron 4 pruebas por medio de las cuales se estudiaron sus propiedades mecánicas, termogravimétricas, de permeabilidad y de biodegradabilidad.

1.3.1. Pruebas Mecánicas: Las pruebas mecánicas, de tensión y elongación, fueron realizadas en el equipo de análisis mecánico diferencial (DMA) Marca TA Instrument serie Q800, por medio de prueba Stress vs Strain siguiendo la norma ASTM D882 con modificación según las especificaciones requeridas por el equipo durante 2 meses por triplicado. Para esto, las películas fueron cortadas en láminas con las siguientes dimensiones:

Largo: $39,76 \pm 1$ mm

Ancho: 6 ± 1 mm

Espesor: $0,4 \pm 0,25$ mm

Medidas con un calibrador Marca Fowler (sensibilidad de 0,01 mm), donde el área expuesta para el estudio es de 17 ± 1 mm. Posteriormente se ubicaron en el equipo a 35°C (isoterma) con una elongación inicial del 0% hasta 100% con rampa 3%/min. Por medio de este análisis se evaluó el módulo de Young, la carga máxima y el porcentaje de elongación de cada película siguiendo un análisis estadístico ANOVA.

1.3.2. Prueba Termogravimétrica: La prueba Termogravimétrica se realizó para medir la degradación térmica del material según sea su composición. Esta prueba fue realizada en el TGA Marca TA Instrument serie Discovery, siguiendo la norma ASTM E1131-08. Se instaló la muestra con peso inicial menor a 50 mg en la balanza del equipo, midiendo la variación del peso desde una temperatura de 35°C hasta 600°C con rampa 10°C/min y un flujo de nitrógeno de 60 mL/min. Para esta prueba se graficó y estudió los porcentajes de pérdida del peso de la muestra y su derivada con respecto a la temperatura para determinar la estabilidad del material.

1.3.3. Prueba Permeabilidad Al Vapor De Agua: La prueba de permeabilidad al vapor de agua fue realizada debido a la posible utilidad del producto como material para empacar alimentos, envases, etc. Esta prueba fue realizada siguiendo la norma ASTM E96 de 1995 basada en el método de agua.

- **Acondicionamiento de la cámara:** Para realizar el estudio, se secó el gel de sílice en un horno a 250°C por 5 horas para retirar la humedad presente en el material. Posteriormente, se introduce a un desecador y se mantuvo a temperatura ambiente hasta realizada la prueba con una humedad relativa dentro de la cámara de aproximadamente 0%.
- **Acondicionamiento de las muestras:** Se seleccionó una película de cada tipo, de forma circular con diámetro mayor al de las celdas. Estas últimas, se llenaron con 50 ml de agua y fueron selladas y rotuladas con el material a caracterizar por medio de abrazaderas plásticas de $25,5 \pm 0,1$ cm de largo y $0,4 \pm 0,1$ cm de ancho, obteniendo un área de estudio de $15,9 \text{ cm}^2$.
- **Montaje experimental:** Las celdas fueron pesadas inicialmente y se llevaron al desecador tomando el tiempo de ingreso de cada una.

Posteriormente, se tomó el peso de cada muestra en lapsos de 1 hora hasta alcanzar una relación directamente proporcional entre la pérdida de peso de la celda y el tiempo transcurrido con el fin de calcular la pendiente de la recta y determinar la velocidad de transmisión de vapor de agua expresada en unidades $\text{g s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

1.3.4. Prueba De Biodegradabilidad: La prueba de biodegradabilidad fue realizada sepultando las muestras previamente pesadas en tierra de jardín a 25 cm durante 60 días con medición de peso al finalizar el estudio [8]. Por medio de este análisis se evaluó el porcentaje de pérdida del peso de la muestra en dicho lapso.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1. SÍNTESIS DE LAS PELÍCULAS BIODEGRADABLES

Según síntesis preliminares realizadas al iniciar el proyecto, se encontraron películas cuyas características cualitativas (apariencia, rigidez, textura, entre otras) coincidían con lo reportado en la literatura; por ello, se escogió 3 tipos de películas cuya diferencia correspondía a variaciones en las cantidades de APV en el material. Así mismo, se efectuaron 3 tipos de películas diferenciables entre sí por ser sintéticos, tener un residuo agroindustrial con y sin filtrar. Resumiendo, se tienen 9 tipos de películas cuya nomenclatura está determinada en la tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura de películas biodegradables según cantidad de APV y residuo agroindustrial.

CANTIDAD DE APV	SINTÉTICA	CON NARANJA FILTRADA	CON NARANJA SIN FILTRO
6%	PB_6A	PB6A_4NSF	PB6A_4NF
4%	PB_4A	PB4A_4NSF	PB4A_4NF
3%	PB_3A	-	-

De las muestras establecidas para el proyecto solo 7 se pudieron sintetizar y retirar finalizado el proceso de curado. Las dos películas con 3% APV con cáscara de naranja no pudieron ser parte de este estudio debido a que el residuo agroindustrial sobresaturó la mezcla dificultando el proceso de mezclado y posteriormente el curado; por ende no pudieron ser retiradas de las cajas Petri.

Se pudo encontrar que las películas biodegradables obtenidas presentan propiedades físicas similares a los plásticos sintéticos y al plástico biodegradable elaborado con almidón de maíz y gelatina comercial, tal como lo reporta Aguilar Méndez en su investigación realizada en el 2005 [11].

2.2. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LAS PELÍCULAS

Para determinar el espesor del material se tomaron 5 medidas con el calibrador (4 extremos y 1 en el centro) los cuales permitieron obtener un promedio de cada película para realizar los debidos estudios con las desviaciones correspondientes. Los grosores de las 7 películas son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Espesor promedio de las películas biodegradables.

PELÍCULA	ESPESOR [mm]
PB_6A	0,686
PB_4A	0,328
PB_3A	0,284
PB6A_4NSF	1,278
PB4A_4NSF	0,766
PB6A_4NF	0,558
PB4A_4NF	0,326

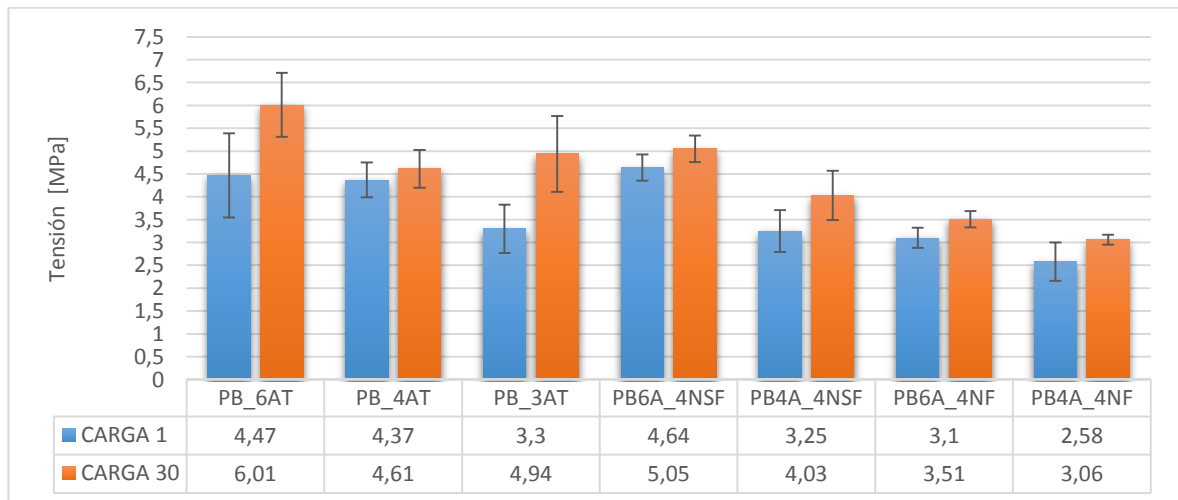
2.3. PRUEBAS MECÁNICAS

Los resultados de las pruebas mecánicas fueron determinados para los 7 tipos de películas en el tiempo, donde se muestra el comportamiento de estas al transcurrir un periodo de 30 días, analizando también la variación de dichas propiedades respecto a la degradación de la misma en el periodo indicado.

2.3.1. Tensión: De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas de tensión representados en la figura 2 y por medio de análisis estadístico ANOVA ($p < 0,05$) se puede observar que los valores de tensión obtenidos para las películas varían según el tiempo, ya que al transcurrir un lapso determinado la tensión aumenta, es decir, las películas se vuelven más rígidas por la estabilidad obtenida mediante la cohesión entre las moléculas de agua y la matriz polimérica.

Para el día 1, las películas muestran valores de tensión entre 2,58 ($\pm 0,42$) y 4,64 ($\pm 0,29$) [MPa], y para el día 30 los valores oscilan entre 3,06 ($\pm 0,11$) y 6,01 ($\pm 0,7$) [MPa]. Siendo más resistentes a la tensión, las películas sintéticas y menos resistentes las películas con adición del residuo agroindustrial filtrado. A su vez, se pudo determinar que otros parámetros que influyen significativamente en esta propiedad son la cantidad de APV y el espesor de la película, ya que al aumentar estos factores, las cadenas carbonadas lineales (APV) presentan mayor interacción entre ellas, generando rigidez molecular y por consiguiente, aumento en la tensión.

Figura 2. Comportamiento de la tensión de las películas en el tiempo.

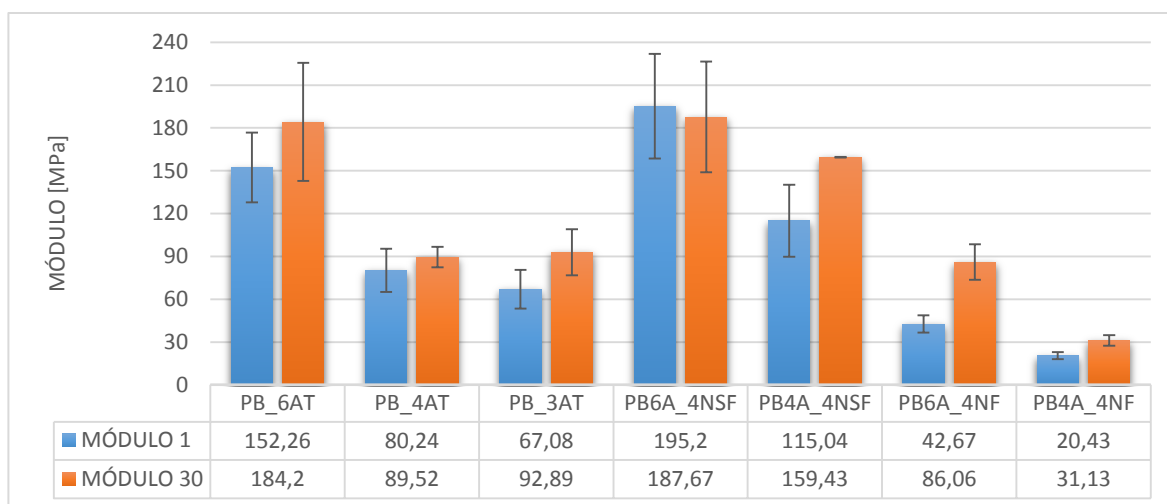


Las películas biodegradables son materiales en proceso de estudio; por ende, se realizó comparación con otras investigaciones y se determinó que la tensión obtenida para las películas biodegradables mono capa sintetizadas en este proyecto por el método casting se encuentra alrededor de valores obtenidos para películas elaboradas con APV, pectinas y el mismo residuo agroindustrial, donde la tensión oscila entre 5,81 y 8 [MPa] [9] y valores de tensión superiores en comparación con el obtenido en películas elaboradas con suero lácteo y glicerol, las cuales muestran valores de tensión entre 1 a 2 [MPa] con adición de un agente microbiano [12].

2.3.2. Módulo De Young: Según los resultados obtenidos en pruebas mecánicas referente al módulo de Young (Figura 3) y según análisis estadístico ANOVA ($p < 0,05$) se observa que existe una dependencia del módulo con la cantidad de APV, la utilización del filtro (películas con residuo agroindustrial) y el espesor de la película. Se observa que los valores de módulos obtenidos se encuentran entre 20,43 ($\pm 2,48$) y 195,20 ($\pm 36,64$) [MPa] para el día 1 y para el día 30 valores de módulo entre 31,13 ($\pm 3,70$) y 187,67 ($\pm 38,77$) [MPa].

Estas variaciones, se deben al aumento en la cantidad de polímero en el material y al tener presencia de sólidos disueltos, de modo que estas variables fortalecen la matriz polimérica aumentando la resistencia del material a deformarse. Por otro lado, la presencia de pectinas provenientes del residuo agroindustrial influye en menor medida otorgando a las películas mayor elasticidad. Esto se puede evidenciar en que las películas más rígidas son las que poseen en su composición mayor cantidad de APV con residuo agroindustrial sin utilizar filtro (PB6A_4NSF) y menos rígidas las que tienen menor cantidad de APV con residuo agroindustrial filtrado (PB4A_4NF).

Figura 3. Módulo de Young de las películas en el tiempo.

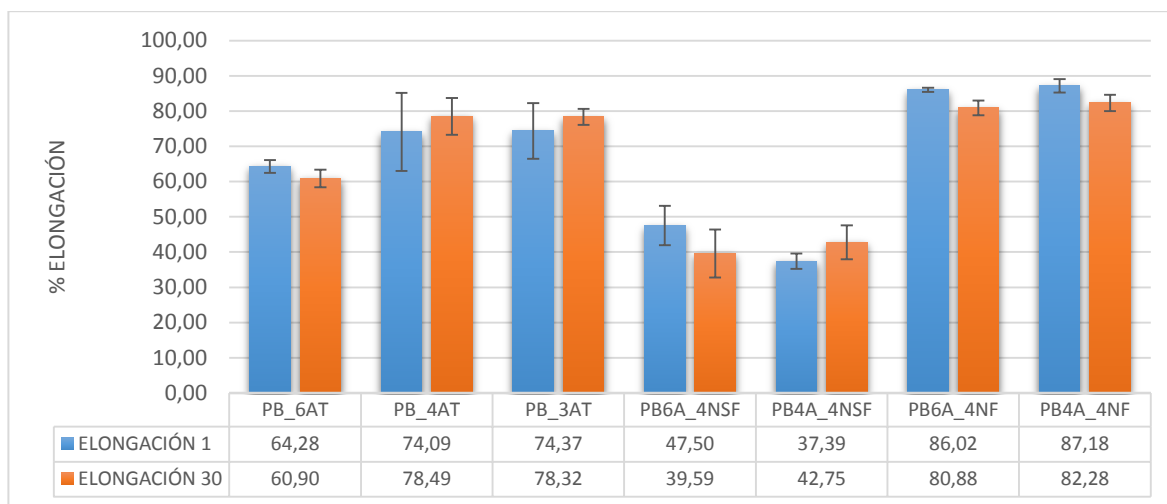


2.3.3. Elongación: los datos obtenidos según pruebas mecánicas mostraron altos porcentajes de elongación para películas tanto sintéticas como con residuo agroindustrial filtrado, cuyos valores oscilan entre 60,9 % ($\pm 2,5$) y 87,18 % ($\pm 1,91$), y bajos porcentajes de elongación para películas con residuo agroindustrial sin filtrar con valores entre 37,39 % ($\pm 2,17$) y 47,50 % ($\pm 5,57$)

Analizando estos datos se establece que el factor influyente en dicha prueba es el filtro ($p < 0,05$), el cual disminuye la cantidad de sólidos disueltos del residuo agroindustrial en la mezcla.

Teniendo en cuenta estudios previos, se puede establecer, que las películas biodegradables de esta investigación presenta porcentajes de elongación más altos, comparados con películas elaboradas con suero lácteo y glicerol con valores hasta 20% [12] y valores similares de elongación para películas elaboradas en base a quitosano con porcentajes hasta 63% [13].

Figura 4. Porcentaje de elongación de las películas biodegradables en el tiempo.

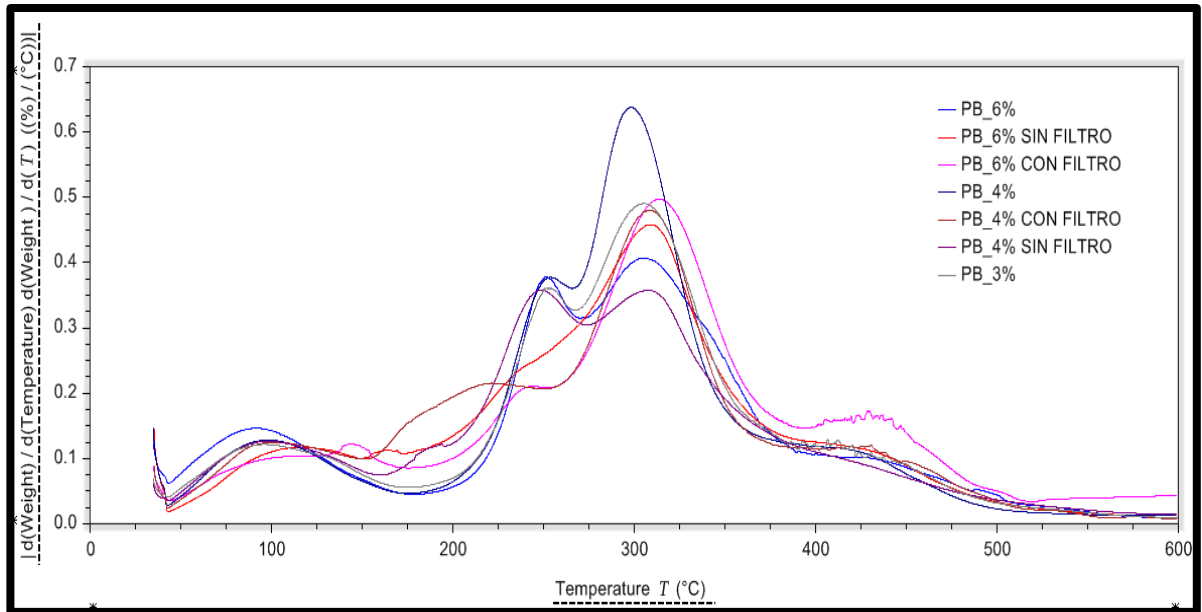


2.4. PRUEBAS TERMOGRAVIMÉTRICAS

La prueba de análisis termogravimétrico se realizó a las 7 muestras seleccionadas para estudiar la estabilidad térmica de cada película biodegradable. Se observó que con la rampa escogida y el método implementado, el material muestra comportamientos similares en las pérdidas de peso para las películas sintéticas, biodegradables filtradas y sin filtrar.

La primera pérdida de peso se encontró entre 80 y 140°C y se le atribuye a la evaporación de agua ligada y no ligada al material y por ende al APV; la segunda pérdida de peso se encuentra a partir de 200°C y esta se le atribuye a la descomposición del glicerol; a los 300°C inicia para todas las muestras un descenso pronunciado el cual es atribuible con el desprendimiento de grupos laterales de la cadena principal y posteriormente a esto, inicia la etapa de degradación térmica hasta alcanzar una temperatura de 600°C donde no se presenta pérdida de peso considerable culminando así con la degradación de la muestra.

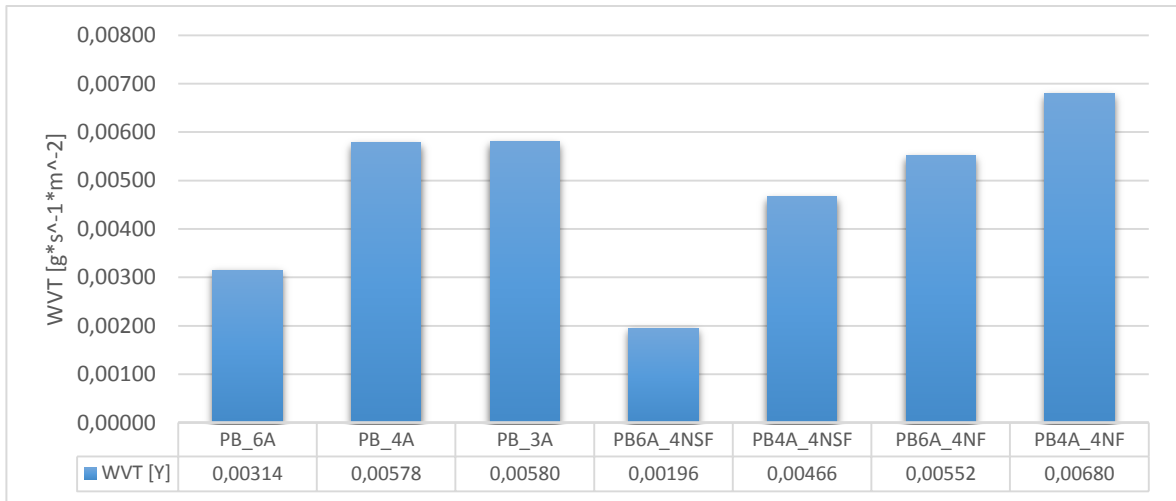
Figura 5. Prueba TGA para los 7 tipos de películas biodegradables



2.5. PRUEBA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

La prueba de permeabilidad al vapor de agua se realizó siguiendo la norma ASTM E96 la cual establece que puede ser medida por medio de la velocidad de transmisión de agua (WVT) siguiendo el montaje experimental nombrado anteriormente. Debido a que se desconoce el gradiente de presión se estudiará esta variable como parámetro influyente en la permeabilidad. Los resultados obtenidos después de 7 horas de estudio son mostrados en la figura 6, por medio de la cual se puede establecer que la cantidad de APV y el filtro son variables influyentes, ya que al aumentar la cantidad de este, se presenta mayor resistencia al paso de vapor de agua por unidad de superficie. Por otro lado, los sólidos disueltos mezclados en el material dificultan dicha transferencia haciendo más impermeable el material.

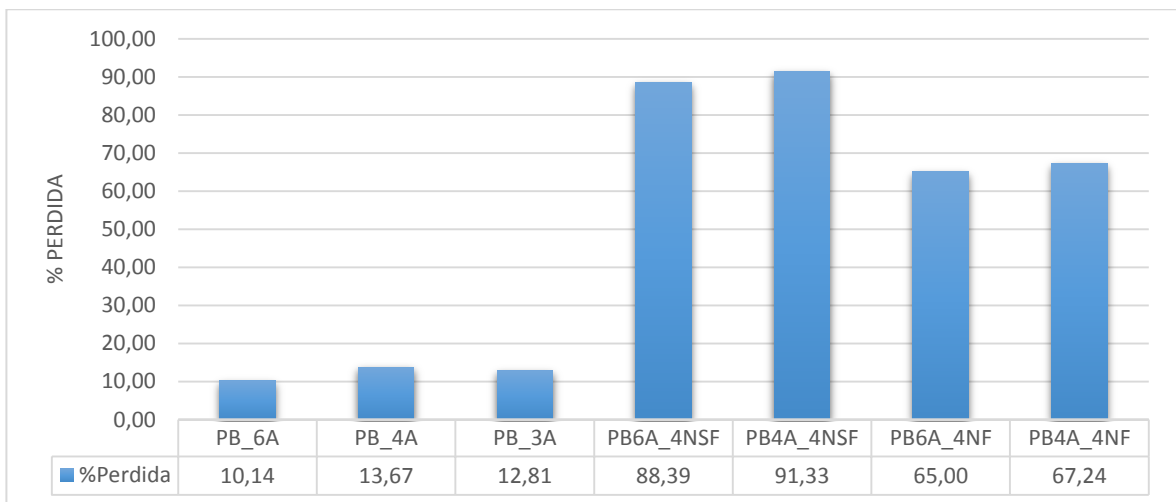
Figura 6. Velocidad de transmisión de agua de las películas biodegradables.



2.6. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

Para la prueba de biodegradabilidad se pudo encontrar que al enterrar las películas durante sesenta (60) días en tierra de jardín, estas sufrieron un proceso de degradación representado en la figura 7, la cual muestra el porcentaje de pérdida del material durante el lapso establecido.

Figura 7. Porcentaje de pérdida en peso de las películas biodegradables.



Con base en lo anterior, se puede encontrar que las películas con residuo agroindustrial presentan el mayor porcentaje de pérdidas en peso. A su vez, se pudo encontrar que al transcurrir 90 días, las películas con cáscara de naranja no pudieron ser recuperadas del medio. La influencia de las materias primas fue realizado siguiendo un análisis ANOVA ($p < 0.05$), el cual muestra dependencia de la cantidad de naranja y el uso de filtro, ya que al estar presente, permite la degradación del residuo agroindustrial y posteriormente el rompimiento de los enlaces en la matriz polimérica.

3. CONCLUSIONES

Se sintetizaron películas biodegradables por el método casting en base a APV, gelatina comercial, glicerol, benzoato de sodio y cáscara de naranja obteniendo un material con características cualitativas considerables para los estudios realizados y la aplicación como empaque de productos. La apariencia del material, pudo ser determinada según el residuo agroindustrial adherido a la mezcla y su espesor depende de los componentes usados y las cantidades tomadas.

Según los análisis establecidos por las películas en las pruebas mecánicas se pudo observar que estas dependen proporcionalmente de la cantidad de APV en la mezcla ya que aumenta la formación de enlaces de puentes de hidrogeno con el agua. A su vez, se pudo determinar que el residuo agroindustrial es variable influyente en estos estudios debido a que puede mejorar la rigidez del material o disminuir la elongación del mismo.

Para el análisis del TGA, se encontró que la variación del APV no influye en los rangos de temperatura donde se da la descomposición del material debido a que las pérdidas son asociadas a la cantidad de agua ligada y no ligada, a la descomposición del glicerol y al desprendimiento de grupos laterales de la cadena principal.

Para la permeabilidad al vapor de agua se encontró que las películas con mejores propiedades de barrera son aquellas que poseen mayor cantidad de APV y presencia de sólidos disueltos debido principalmente a que su grosor es mayor y que al aumentar la cantidad de los componentes ralentizan el paso del vapor.

Finalmente, se puede concluir que las películas tanto sintéticas como con residuo agroindustrial cumplen la función esperada que es reducir la contaminación presente por acumulación de sólidos en los rellenos sanitarios o en la naturaleza,

ya que al cabo de 60 días presentaron pérdidas de peso superiores al 60%. Cabe aclarar, que las películas con mayor biodegradabilidad fueron las que contienen sólidos disueltos debido a que estos aumentan la degradación microbiana y el rompimiento de los enlaces

4. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la adición de componentes hidrófobos para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua y reducir la solubilidad del material en el agua.
- Se recomienda realizar investigaciones para mejorar las propiedades de las películas biodegradables elaboradas con los componentes mencionados de modo que se implemente no solo en la industria de alimentos sino también para elaboración de empaques plásticos cuyo fin sea reducir el uso de polímeros sintéticos provenientes del petróleo reduciendo así la contaminación producida por ellos.
- Se recomienda realizar prueba de tiempo de vida media por termogravimetría para analizar la biodegradabilidad de las películas de un modo más preciso.
- Se recomienda realizar un estudio del suelo donde se realizó la descomposición del material para determinar los componentes presentes al finalizar este proceso.
- Se recomienda estudiar el intercambio de agua del material al medio durante el proceso de curado para determinar la variación de dicho proceso con la temperatura a la cual se realiza.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Cadillo, D. (2013). *Tiempo de vida del plástico y sus derivados*. Recuperado el 09 de 02 de 2016, de El plástico y su repercusión medioambiental: <https://mundoverdecologico.wordpress.com/2013/06/22/tiempo-de-vida-del-plastico-y-sus-derivados/>

[2] Plastic Europe, productores de materias plásticas. (2011). *Análisis de la producción, la demanda y la recuperación de plásticos en 2010*. Bruselas, Bélgica.

[3] Plastic Europe, productores de materias plásticas. (2015). *Análisis de la producción, la demanda y la recuperación de plásticos en Europa en 2014*. Bruselas, Bélgica.

[4] Residuos Profesionales. (2015). *El reciclaje no da abasto con la producción mundial de residuos plásticos*. Recuperado el 12 de 01 de 2016, de <http://www.residuosprofesional.com/el-reciclaje-de-plastico-es-insuficiente-frente-la-elevada-produccion-mundial/>

[5] Plastivida Argentina. (Septiembre de 2007). Entidad técnica profesional especializada en plásticos y medio ambiente. *Boletín técnico informativo Degradación de los plásticos*, Argentina: CIT-Centro de información técnica, Ed. 21, Pág. 4.

[6] Sánchez Aldana, D., Contreras-Esquivel, J. C., Aguilar, C. N., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CyTA-Journal of food*. Vol. 13, Ed. 1, Pág. 17-25.

[7] Rubio Anaya, M., & Guerrero Beltran, J. A. (2012). Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental; Universidad de las Américas Puebla. San Andrés Cholula, Puebla, Mexico. *Vol. 6, Ed. 2*, Pág. 173-181.

[8] Aleman Huerta, M. E., Galán Wong, L. J., Morales Ramos , L. H., & Arevalo Niño, K. (s.f.). Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (cast-film) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y alcohol polivinílico (PVOH). Departamento de Microbiología e Inmología, Universidad Autonoma de Nuevo León San Nicolás de los Garza, Nuevo León, Mexico.

[9] Arevalo Niño, K., Aleman Huerta, M. E., Rojas Verde, M. G., & Morales Rodriguez, L. A. (2010). Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos. Instituto biotecnología, Universidad Autonoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, Mexico. *Vol. 1, Ed. 2*, Pág. 124-134.

[10] Zaritsky, N. (2005). Películas biodegradables y recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides: caracterización y aplicaciones. Centro de Investigacion y Desarrollado en Criotecnología de Alimentos (CIDCA); Universidad Nacional La Plata UNLP-CONICET. La plata, Buenos Aires, Argentina.

[11] Aguilar Mendez, M. A. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. *Tesis de grado Maestría en tecnología avanzada*. Instituto Politecnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Mexico.

[12] Sala , A., Escobar, D., Silvera , C., Harispe, R., & Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de

sorbato de potasio como conservador. Revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay, Innotec. Uruguay. *Ed. 4*, Pág. 33-36.

[13] Pereda, M., Moreira, M., Roura, S. I., Marcovich, N., & Aranguren, M. I. (2014). Bio-películas para el envasado de alimentos: proteínas y carbohidratos. Ciencia e Investigación. Argentina. *Tomo 64, Ed. 2*, Pág. 35-50.

BIBLIOGRAFIA

Accuweather.com. (s.f.). Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <http://www.accuweather.com/es/co/piedecuesta/106558/august-weather/106558?monyr=8/1/2015&view=table>.

Aleman Huerta, M. E., Morales Ramos, L. H., Luna Santillana, E. J., Salazar Alpuche, R. Y., & Arevalo Niño, K. (s.f.). Estudio de las propiedades físicas de películas biodegradables y su posible aplicación como sistema mulching (acolchado). Instituto de biotecnología Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, Mexico.

ASTM. (2001). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. *In Standard D882 Annual book of American standard testing methods*, Philadelphia: PA: American Society for Testing and Materials. Pág. 162-170.

Avendaño Romero, G. C., López- Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. Departamento de Ingeniería Química, de Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. San Andrés Cholula, Puebla, Mexico. *Vol. 7, Ed. 1*, Pág. 87-96.

Estrada Berrocal, J., & Romero Bonivento, L. (2011). Elaboración de una película comestible a base de colágeno incorporado con nisina como agente antimicrobiano para reducir la pérdida de humedad y oxidación de las grasas en filetes de carne de cerdo en refrigeración. *Trabajo de grado Ingeniera de Alimentos*. Universidad de Cartagena. Cartagena D.T Y C., Colombia.

Hernández Silva, M. L., & Guzmán Martínez, B. (Agosto de 2009). Biopolímeros empleados en la fabricación de envases para alimentos. *Revista Especializada en ingeniería de procesos en alimentos y materiales UNAD*. Colombia. *Vol. 3, Ed. 1*.

Mendoza Quiroga, R., & Velilla Diaz, W. (2011). Metodología para la caracterización termo-mecánica de películas plásticas biodegradables. Grupo de investigación en Materiales, Procesos y Tecnologías de fabricación, Universidad Autonoma del Caribe. Barranquilla, Atlantico, Colombia. *Vol. 9, Ed. 1*, Pág 46-51.

Montalvo, C., López-Malo, A., & Palou, E. (2012). Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Americas Puebla. San Andrés Cholula, Puebla, México. *Vol. 6, Ed. 2*, Pág. 32-46.

Quintero C., J., Falguera, V., & Muñoz H., A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofruticola. *Revista Tumbaga. Ed. 5*, Pág. 93-118.

Salgado González, I. D. (s.f.). Efecto de la adición de quitosano en las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, brillo y microestructura en films comestibles a base de almidón de trigo. *Master en ciencia e ingeniería de alimentos*. Universidad Politecnica de Valencia. Valencia, España.

Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*. Colombia. *Vol. 12*, Pág. 5-13.

ANEXOS

Anexo A. Componentes usados para la elaboración de películas biodegradables

1. POLISACÁRIDOS

Polímeros constituidos por más de 10 monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos los cuales se caracterizan por ser solubles en agua y formar dispersiones coloidales. Estos forman películas muy resistentes, concediendo buenas propiedades mecánicas y estructurales, buenas barreras al oxígeno y dióxido de carbono, propiedades antifúngicas y antimicrobianas. Como desventaja, presentan baja resistencia a la pérdida de agua la cual se contrarresta usando algunos aditivos hidrófobos [11].

Las películas formadas a partir de polisacáridos tienen como principal aplicación la conservación de alimentos (frutos y vegetales). Los principales polisacáridos usados en la elaboración de películas biodegradables son almidón, celulosa y sus derivados, quitosano, pectinas, alginatos, carragenanos, entre otros.

ALMIDON: Es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales y el más usado para la elaboración de películas, con un alto potencial, por su alta disponibilidad, bajo costo, por ser renovable y biodegradable. Películas elaboradas en base a almidón se caracterizan por su baja permeabilidad, limitando su uso al envasado de alimentos. Sus propiedades mecánicas son más bajas que las de películas de polímeros sintéticos; por ello se realizan ciertas modificaciones químicas del almidón, para mejorar sus propiedades. Estas modificaciones se basan en la cantidad de almidón utilizado; de modo que se puede encontrar películas biodegradables con almidón plastificado de 40-60%, almidón termoplástico con 90%, estable en aceites y grasas o espumas de almidón con un

100%, que permite obtener propiedades como aislante, amortiguador y antiestático [7].

CELULOSA: Es el principal constituyente de las paredes celulares de las plantas. En comparación con el almidón, la celulosa es más resistente a la biodegradación. Se usan principalmente la mayoría de las formas esterificadas de la celulosa (Carboximetilcelulosa, CMC; Metilcelulosa, MC; Hidroxipropilmetilcelulosa, HPMC; Hidroxipropilcelulosa, HPC; entre otras) para la formación de películas, empleadas en los alimentos para retrasar procesos de maduración de frutos y vegetales, controlando la difusión del oxígeno y del dióxido de carbono, aunque presentan bajas propiedades de barrera a la humedad, por ello se mejoran con la adición de sustancias hidrófobas [11].

Películas elaboradas con derivados de la celulosa, como por ejemplo, el acetato de celulosa presentan buenas propiedades de barrera para grasas y aceites, son películas flexibles, solubles en agua y como se había mencionado con bajas propiedades de barrera a la humedad. Su campo de aplicación se extiende desde el uso en la fritura de papas a la francesa, disminuyendo la absorción de aceite, elaboración de cubiertas de comprimidos farmacéuticos hasta la elaboración de sacos comestibles para alimentos.

QUITOSANO: Se obtiene del proceso de des acetilación química o enzimática de la quitina. Se usa en la formación de películas por ser biodegradables y por sus propiedades antifúngicas y antimicrobianas, presentan buenas propiedades mecánicas y baja permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono y alta permeabilidad al vapor de agua (se contrarresta usando aditivos). Usado principalmente con alimentos, ya que permite alargar el tiempo de vida de algunas frutas y vegetales, protegiendo a los alimentos de la degradación por hongos o modificando la atmosfera en frutos frescos.

PECTINAS: Complejo anionico polisacárido derivado de residuos del ácido D-Galacturonico. Se pueden encontrar pectinas de alto metoxilo y de bajo metoxilo según el grado de esterificación; las de alto metoxilo contienen una elevada proporción de grupos carboxilo esterificados y las de bajo metoxilo tienen la mayoría de los grupos carboxilo libres. Las pectinas de alto metoxilo son miscibles en alcohol polivinílico y glicerol en cualquier proporción, permitiendo la formación de excelentes películas usadas en la fabricación de bolsas y en diversos sistemas médicos. Películas elaboradas con pectina presentan alta permeabilidad al vapor de agua, similar al caso de películas de celulosa, y para reducir este efecto, se realiza adición de algún lípido, por ejemplo, ceras.

ALGINATOS: Polisacáridos presentes en algas marinas. Son los componentes de las paredes celulares de las algas que proporcionan a esta rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua. Los alginatos presentan varias propiedades que permiten la formación de películas biodegradables, una de ellas es su capacidad como espesantes al ser disueltos en agua y su capacidad de retener agua.

Este tipo de películas presentan buenas propiedades de barrera al oxígeno, aceites y grasas, presentan también una alta permeabilidad a la humedad. En cuanto a su campo de aplicación, han sido ampliamente usadas en la fabricación de envolturas de embutidos, como salchichas o salchichón, para la deshidratación superficial de carnes y pescados, o productos congelados.

CARRAGENANOS: polímeros naturales que provienen de algas marinas, tienen cualidades como emulsificantes, gelificantes y espesantes. Películas elaboradas con carragenanos tienen escasas propiedades mecánicas, buenas propiedades de barrera al oxígeno y logran aumentar la estabilidad contra el crecimiento de microorganismos en la superficie, son usados más que todo en la mejora del aspecto de las películas.

2. PROTEINAS

Las proteínas se presentan en distintas formas de acuerdo a su estructura ya sea primaria, depende de la secuencia de aminoácidos, secundaria, basada en atracciones electrostáticas, fuerzas de van der Waals y puentes de hidrogeno sobre la cadena polimérica, y terciaria, que se pliega la estructura secundaria sobre sí misma, de modo que se forman así proteínas fibrosas (asociadas unas con otras en estructuras paralelas) o globulares (enrolladas sobre si mismas en estructuras esféricas). Por ello, gracias a su estructura, permiten formar películas con mayor cohesión y estables con nuevos enlaces o interacciones.

Las películas en base a proteínas tienen excelentes propiedades de barrera al oxígeno y al dióxido de carbono; estas según su estructura presentan buenas propiedades mecánicas (fibrosas), o necesitan desdoblarse antes de la formación de la red polimérica (globulares) [11]. Algunas de ellas son: proteínas globulares como el gluten de trigo, la zeína de maíz, la proteína de soya, proteína del suero de la leche, caseína, entre otras; y proteínas fibrosas como el colágeno.

GLUTEN DE TRIGO: Proteína de origen vegetal con la que se elaboran películas con buenas propiedades mecánicas y buenas propiedades de permeabilidad a gases, pero baja permeabilidad al vapor de agua, presenta también naturaleza hidrófoba en comparación con otros biopolímeros. Se utilizan estas películas para la encapsulación de aditivos y para mantener antimicrobianos sobre superficies de alimentos [11].

ZEINA DE MAIZ: Proteína predominante en el maíz que forma películas en soluciones acuosas con propiedades de barrera eficientes al oxígeno, solubles en alcoholes, por ello cuando se adiciona un polialcohol se mejora el esfuerzo de tensión.

PROTEINA DE SOYA: Proteína globular de origen vegetal con la cual se elaboran películas con buenas propiedades de barrera al oxígeno y a los lípidos, con bajas humedades relativas. Según estudios realizados, se evalúan propiedades de películas en base a proteínas de soya a diferentes pH's obteniendo como conclusión que se pueden obtener películas de proteína de soya con pH de 1 a 3 y de 6 a 12, en pH entre 4 y 5 no se pudieron obtener películas, debido a que en este intervalo se encuentra su punto isoeléctricoⁱ, por encima de este punto, la permeabilidad al vapor de agua es baja [11].

PROTEINAS DE LA LECHE: Se clasifican en dos tipos: la caseína y las proteínas del suero. Como características fundamentales presentan su solubilidad en agua y su actuación como agentes emulsificantes.

- **CASEINA:** Forman películas en soluciones acuosas, transparentes, flexibles, blandas y solubles en agua por su habilidad para formar enlaces de hidrogeno, presentan propiedades de permeabilidad más bajas en comparación con las películas elaboradas a partir de suero de leche [11]. Para la elaboración de películas se ha usado también el caseinato de sodio, el cual es un polímero soluble en agua obtenido por la precipitación acida de la caseína, y gracias a esta se pueden formar películas con buenas propiedades de barrera al oxígeno [13].
- **SUERO DE LECHE:** Forman películas insolubles en agua, por presencia de enlaces covalentes de puentes de disulfuro. Son películas sensibles a altas temperaturas.

ⁱ **Punto isoeléctrico:** pH en el que las proteínas presentan el mismo número de cargas positivas que negativas, carga neta es cero [2].

COLAGENO: Es una proteína fibrosa, constituida por cadenas polipeptídicas ordenadas que forman fibras. Son buenos formadores de películas biodegradables en cuanto a propiedades mecánicas, pero con bajas propiedades de barrera a la humedad, por su carácter hidrofílicos. La gelatina es uno de sus derivados y es obtenida del colágeno por hidrólisis acida o alcalina. Presenta buena solubilidad en agua y capacidad para formar geles termorreversibles. En la formación de películas biodegradables y recubrimientos comestibles se caracterizan por reducir la permeabilidad al oxígeno, reducir la difusión del vapor de agua y la migración de grasas. Se establece también un futuro promisorio para películas que usen como componente la gelatina, ya que pueden dar buenos resultados para que sean usadas como empaques, que reemplacen las películas sintéticas [11]. Se usa en la envoltura de embutidos como el salchichón y en farmacéutica en la fabricación de tabletas y capsulas.

3. LIPIDOS

Son compuestos orgánicos insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos no polares los cuales tienen escasa integridad estructural y características funcionales presentando buenas propiedades de barrera contra la humedad; por ello se usan principalmente para aportar hidrofobicidad a las películas biodegradables. De este modo, son usados con otros biopolímeros para mejorar sus propiedades, utilizando un polisacárido y/o proteína que otorgue buenas propiedades mecánicas y un lípido para generar buenas propiedades de barrera al vapor de agua y humedad. Los lípidos más usados son principalmente ceras parafinadas, cera de candelilla, incluso la cera producida por las abejas.

ACETOGLICERIDOS: Se producen por acetilación del monoestearato de glicerol, obteniéndose un sólido flexible. Tienen excelentes propiedades de barrera y aumentan a medida que aumenta el grado de acetilación. Utilizados para evitar la oxidación y la pérdida de peso.

CERAS: Ésteres de ácidos grasos de cadena larga. Sus características están relacionadas directamente con la impermeabilidad al vapor de agua que otorgan a las películas biodegradables. Son más efectivas que cualquier otro lípido para propiedades de barrera. Usadas principalmente para micro encapsulación de sustancias con olores o sabores a condimentos.

- **CERA DE ABEJAS:** Es obtenida por medio de la secreción de glándulas del abdomen de las abejas obreras. Tienen propiedades emulsificantes, plasticidad y un olor agradable, usados así como recubrimiento, para otorgar mejores propiedades de barrera a la humedad a las películas biodegradables.

4. POLIMEROS MICROBIANOS

Estos polímeros hacen referencia a biopolímeros de origen bacteriano obtenidos por fermentación de microorganismos, o polímeros extraídos de biomasa mediante síntesis química. Dentro de estos polímeros podemos encontrar el ácido poliláctico (PLA), el polihidroxialcanoato (PHA), entre otros.

ACIDO POLILACTICO (PLA): Polímero biodegradable proveniente del ácido láctico termoplástico, maleable, resistente a la humedad y a las grasas, puede obtenerse de cualquier material que contenga almidón o azúcares. Sus propiedades mecánicas, térmicas y de barrera llegan a ser comparables con el polietileno y algunos polímeros sintéticos. Su campo de aplicación principal es en el envase y empaques de alimentos y para la elaboración de películas para cultivos [7].

POLIHIDROXIALCANOATO (PHA): Polímero de origen microbiano producido por *Pseudomonas Aeruginosa*, se caracterizan por ser termoplásticos, dúctiles y elásticos. Con este biopolímero se pueden elaborar excelentes películas para

empaques, ya que permite controlar el dióxido de carbono durante el almacenamiento de frutas y verduras.

POLIHIDROXIBUTIRATO (PHB): Es un poliéster termoplástico, fuerte, con buenas propiedades de barrera a la humedad y al oxígeno. Tiene similitud en propiedades con el polipropileno. Permite acumulación de dióxido de carbono, logrando tener control de atmosferas y crecimiento de bacterias, de ahí es que se usa para empaques de alimentos; aunque como desventaja se encuentra su alto costo.

Anexo B. Composiciones de las materias primas en las películas biodegradables

Se tomaron 7 tipos de películas biodegradables cuyas composiciones fueron:

1. PELÍCULAS SINTÉTICAS

1.1. PB_6AT

Tabla 1. Cantidades y tiempos de adición películas biodegradables con 6% de APV

COMPONENTE	%p/p	TIEMPO ADICIÓN [MIN]
Agua	85,6	0
APV	6,67	0
Gelatina	4,73	26
Benzoato	1,59	26
Glicerol	1,4	26
TIEMPO FINAL		48

1.2. PB_4AT

Tabla 2. Cantidades y tiempos de adición películas biodegradables con 4% de APV

COMPONENTE	%p/p	TIEMPO ADICIÓN [MIN]
Agua	88,14	0
APV	3,94	0
Gelatina	4,88	16
Benzoato	1,58	16
Glicerol	1,44	16
TIEMPO FINAL		25

1.3. PB_3AT

Tabla 3. Cantidades y tiempos de adición películas biodegradables con 3% de APV.

COMPONENTE	%p/p	TIEMPO ADICIÓN [MIN]
Agua	88,99	0
APV	2,99	0
Gelatina	4,97	11
Benzoato	1,57	11
Glicerol	1,45	11
TIEMPO FINAL		20

2. PELÍCULAS CON CÁSCARA DE NARANJA SIN FILTRO

2.1. PB6A_4NSF

Tabla 4. Cantidades y tiempos de adición películas con cáscara de naranja con 6% de APV sin filtrar.

COMPONENTE	%p/p	TIEMPO ADICIÓN [MIN]
Agua	81,68	0
APV	6,37	10
Naranja	4,53	0
Gelatina	4,53	27
Benzoato	1,52	27
Glicerol	1,33	27
TIEMPO FINAL		49

2.2. PB4A_4NSF

Tabla 5. Cantidades y tiempos de adición películas con cáscara de naranja con 4% de APV sin filtrar.

COMPONENTE	% p/p	TIEMPO ADICIÓN [MIN]
Agua	84,06	0
APV	3,73	10
Naranja	4,67	0
Gelatina	4,67	26
Benzoato	1,49	26
Glicerol	1,37	26
TIEMPO FINAL		35

3. PELÍCULAS CON CÁSCARA DE NARANJA CON FILTRO

3.1. PB6A_4NF

Tabla 6. Cantidades y tiempos de adición películas con cáscara de naranja con 6% de APV filtrada.

COMPONENTE	% p/p	TIEMPO ADICION [MIN]
Agua	81,68	0
APV	6,37	10
Naranja	4,53	0
Gelatina	4,53	27
Benzoato	1,52	27
Glicerol	1,33	27
TIEMPO FINAL		49

3.2. PB4A_4NF

Tabla 7. Cantidades y tiempos de adición películas con cáscara de naranja con 4% de APV filtrada.

COMPONENTE	% p/p	TIEMPO ADICION [MIN]
Agua	84,06	0
APV	3,73	10
Naranja	4,67	0
Gelatina	4,67	26
Benzoato	1,49	26
Glicerol	1,37	26
TIEMPO FINAL		35

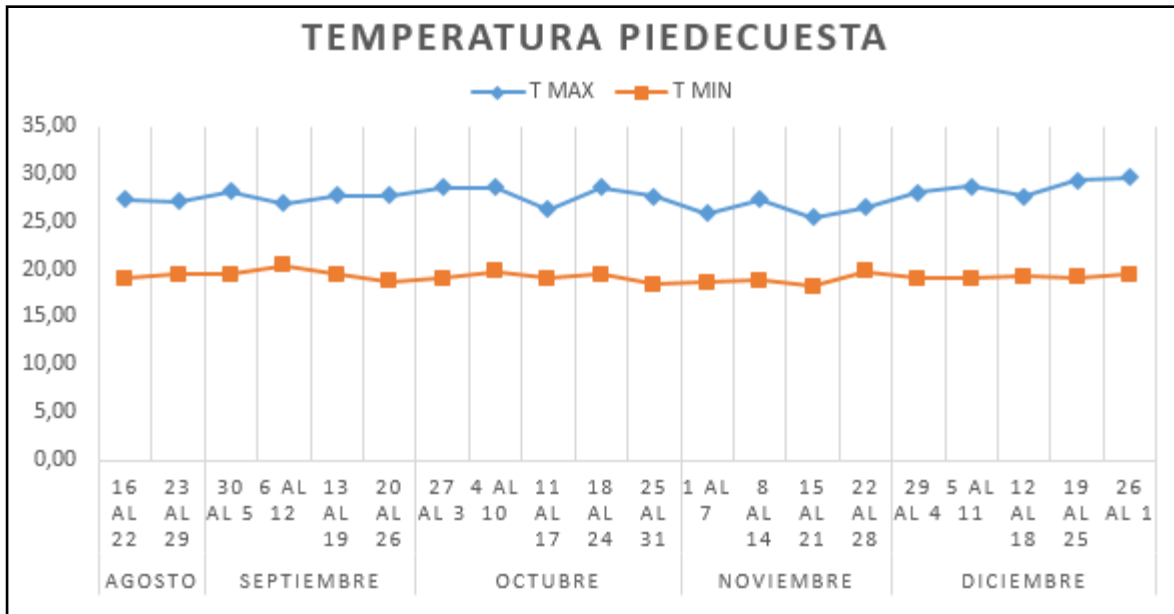
Anexo C. Temperatura promedio del municipio de Piedecuesta (Santander)

Debido a que el tiempo de curado no fue realizado en un ambiente controlado, a continuación se presenta las temperaturas registradas en el municipio de Piedecuesta, Santander para el periodo comprendido del 16 de agosto de 2015 al 1 de enero de 2016.

Tabla 1. Temperaturas registradas para el municipio de Piedecuesta. [1]

MES	SEMANA	T MAX	DESVIACION	T MIN	DESVIACION
AGOSTO	16 al 22	27,29	1,03	19,00	0,53
	23 al 29	27,14	0,99	19,43	1,05
SEPTIEMBRE	30 al 5	28,14	0,35	19,43	1,18
	6 al 12	26,86	1,64	20,43	1,40
	13 al 19	27,71	2,37	19,43	1,68
	20 al 26	27,71	0,70	18,71	0,45
OCTUBRE	27 al 3	28,57	1,40	19,00	1,41
	4 al 10	28,57	1,64	19,71	0,45
	11 al 17	26,29	1,58	19,00	0,00
	18 al 24	28,57	1,50	19,43	1,50
	25 al 31	27,57	0,90	18,43	0,49
NOVIEMBRE	1 al 7	25,86	0,83	18,57	0,49
	8 al 14	27,29	1,16	18,86	1,12
	15 al 21	25,43	1,05	18,14	1,46
	22 al 28	26,43	1,05	19,71	1,03
DICIEMBRE	29 al 4	28,00	1,63	19,00	0,58
	5 al 11	28,71	0,45	19,00	1,69
	12 al 18	27,57	0,90	19,29	0,45
	19 al 25	29,29	1,03	19,14	0,35
	26 al 1	29,57	0,73	19,43	0,49

Figura 1. Temperatura de Piedecuesta [1]



Anexo D. Pruebas mecánicas

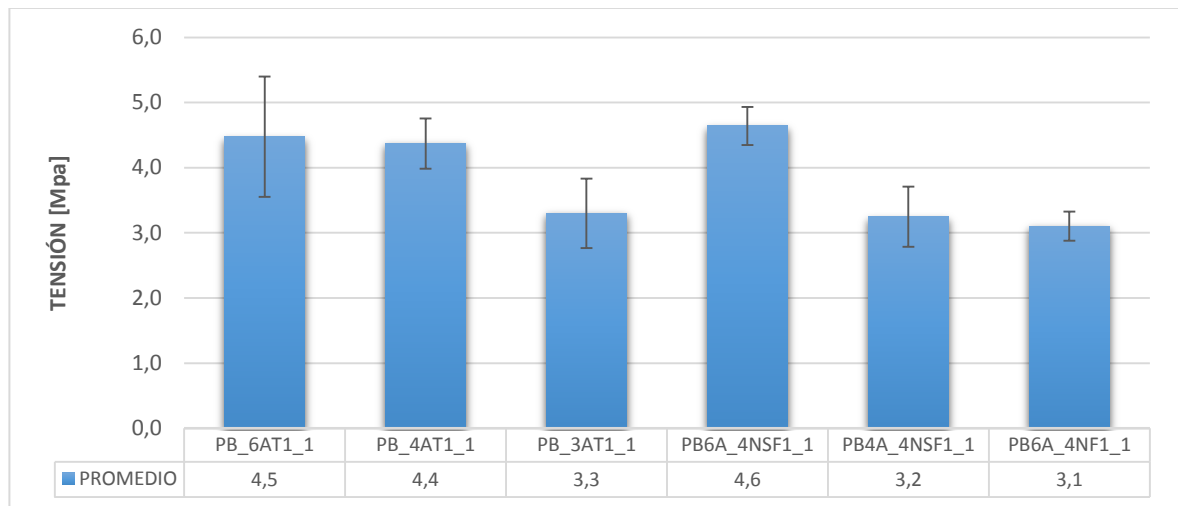
Como se mencionó anteriormente, las pruebas mecánicas fueron realizadas en el equipo DMA con probetas según medidas especificadas en la metodología. Estas fueron realizadas para las 7 variaciones según lapsos indicados. Para las películas sintéticas las pruebas fueron realizadas desde el día 1 hasta el 30 y para las películas con cáscara de naranja las pruebas fueron realizadas desde la semana 1 hasta la 4.

1. PRUEBAS DE CARGA

Los resultados obtenidos para estas pruebas son definidos a continuación.

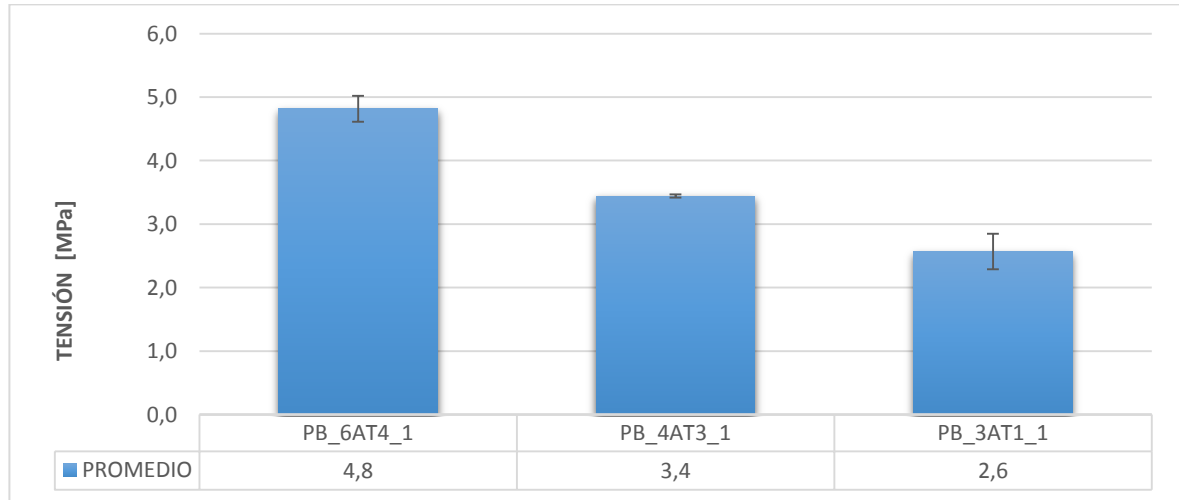
DIA 1 (SEMANA 1)

Figura 1. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 1



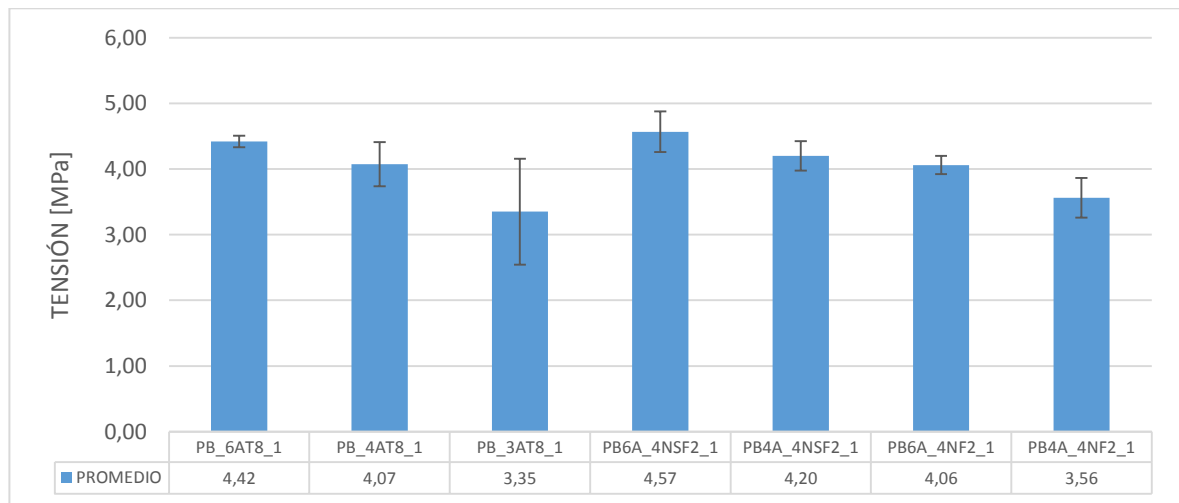
DIA 3

Figura 2. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 3



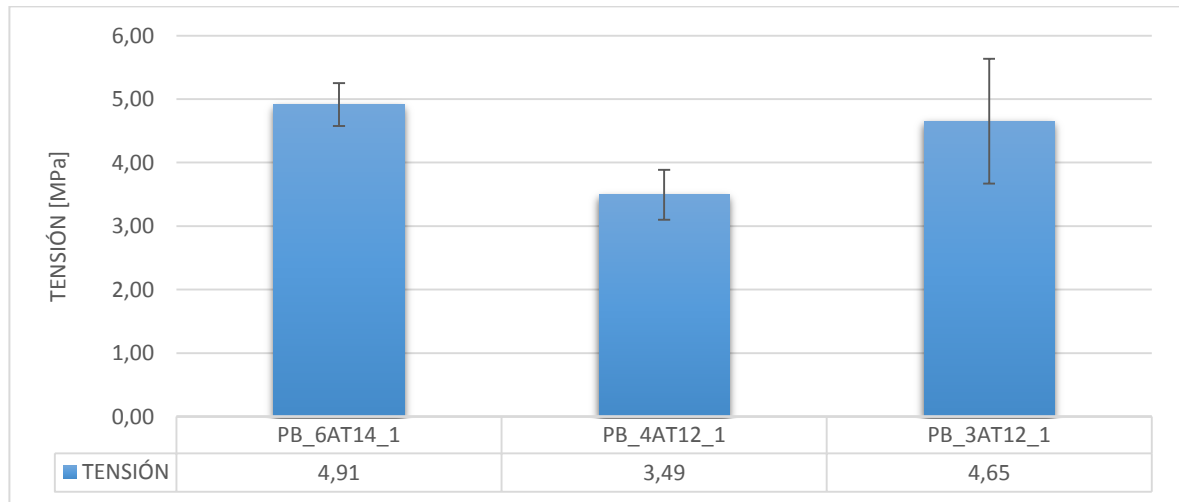
DIA 8 (SEMANA 2)

Figura 3. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 8



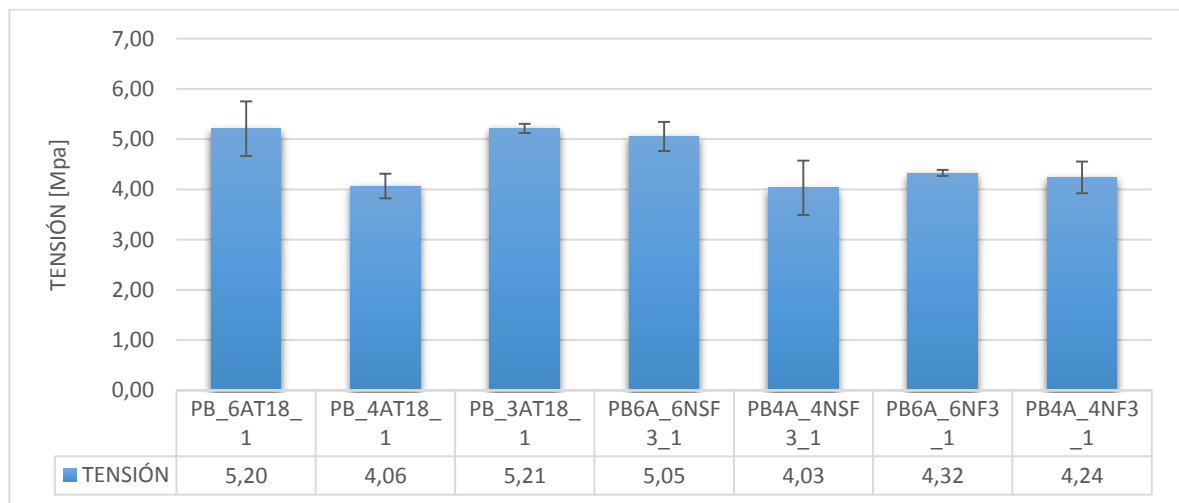
DIA 12

Figura 4. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 12



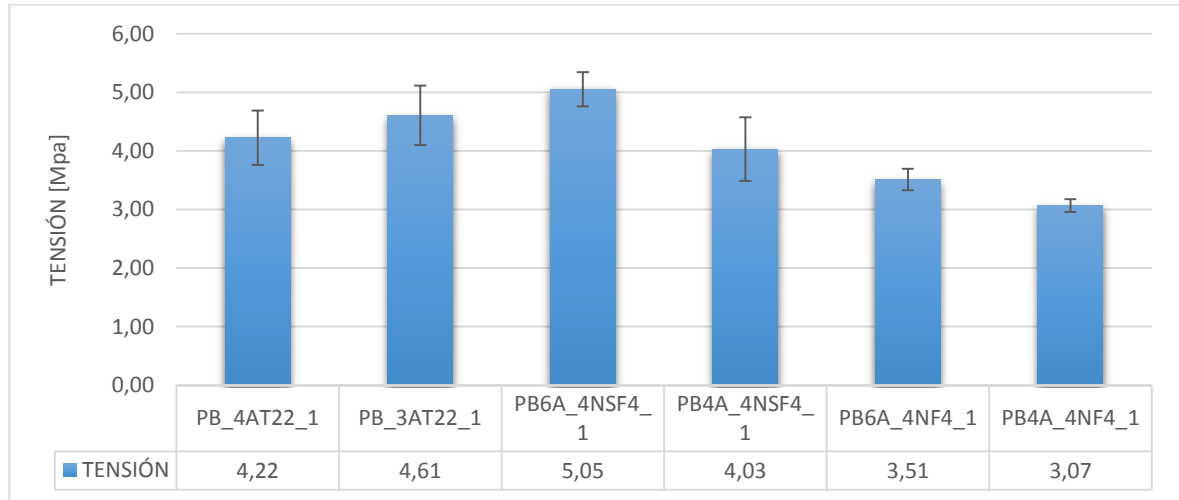
DIA 18 (SEMANA 3)

Figura 5. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 18



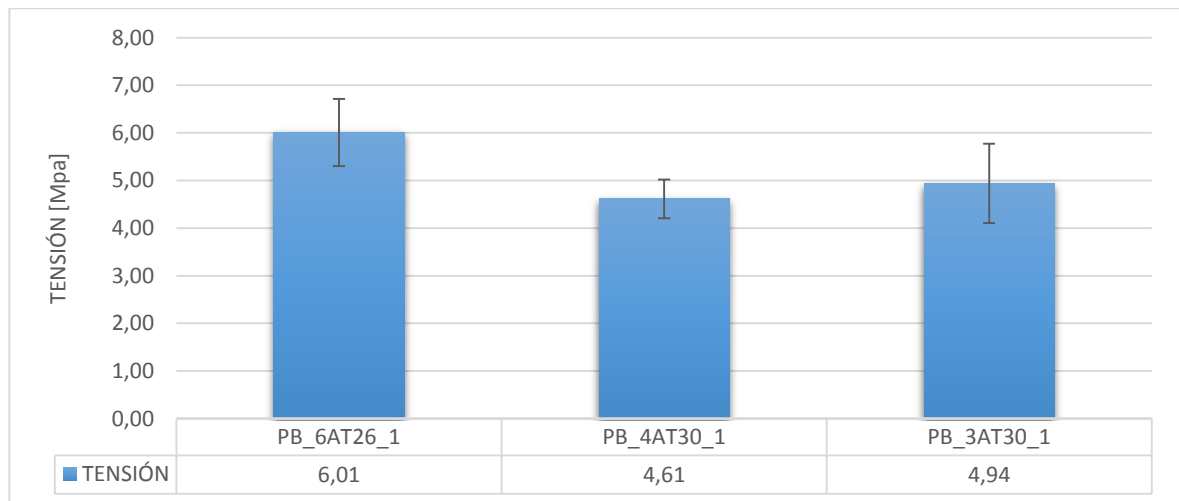
DIA 22 (SEMANA 4)

Figura 6. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 22.



DIA 30

Figura 7. Prueba de tensión para películas biodegradables en el día 30.

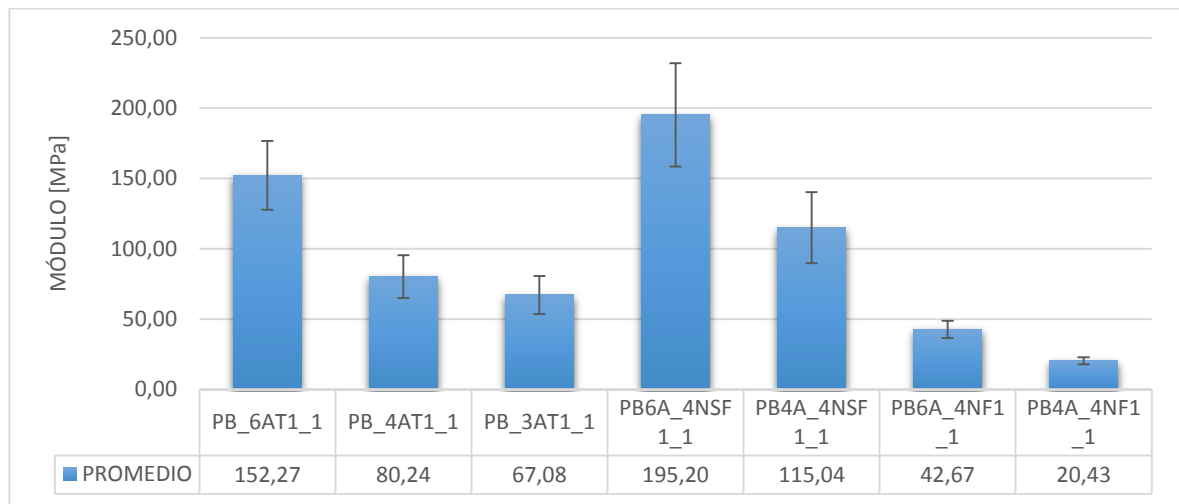


2. MÓDULO DE YOUNG

Los resultados obtenidos para estas pruebas son definidos a continuación.

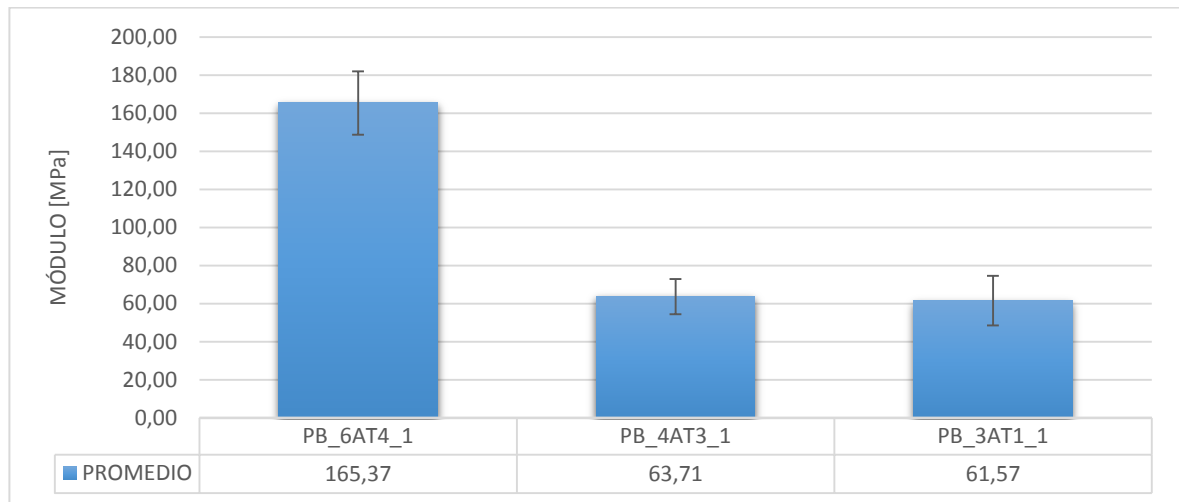
DIA 1 (SEMANA 1)

Figura 8. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 1



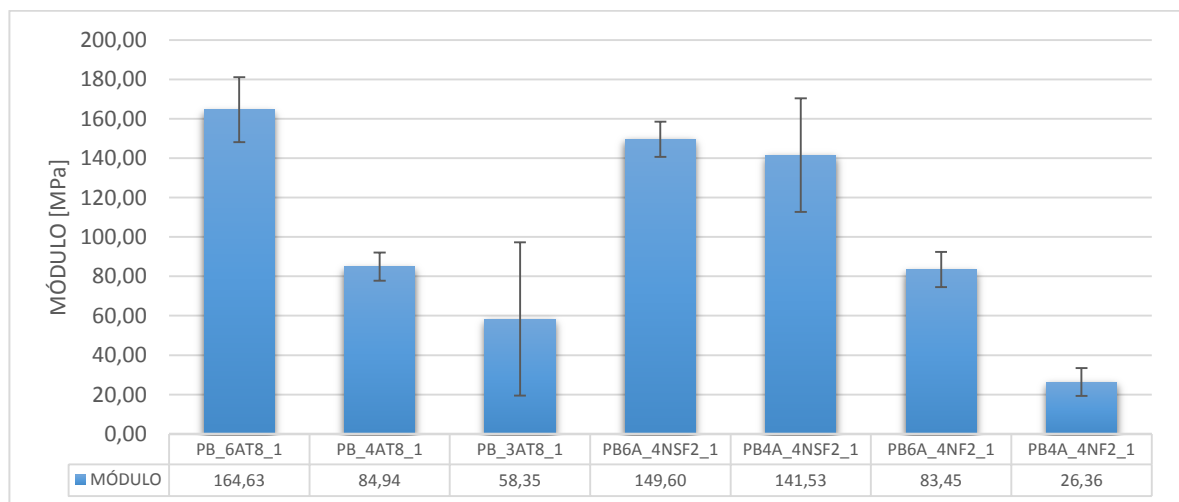
DIA 3

Figura 9. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 3.



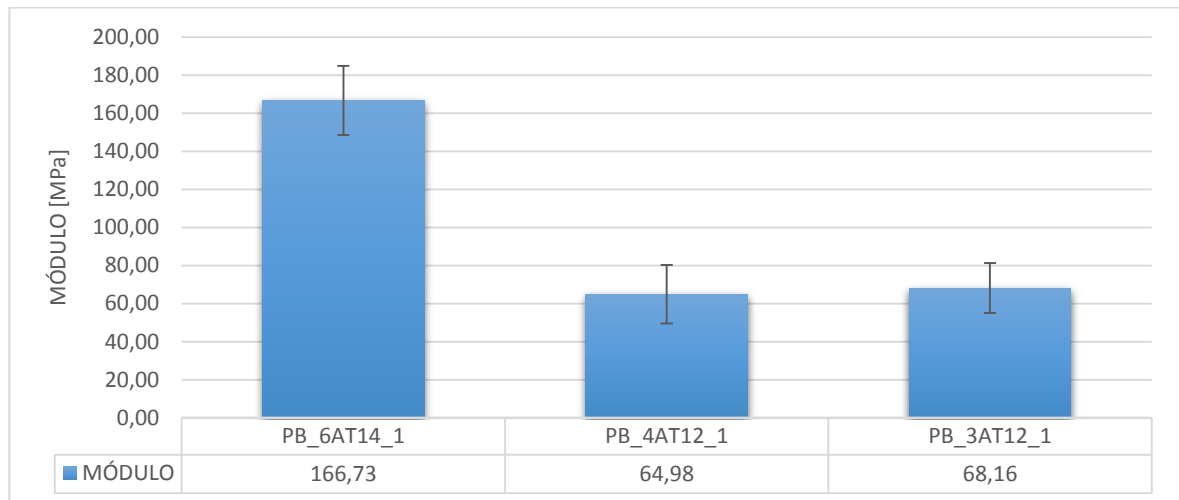
DIA 8 (SEMANA 2)

Figura 10. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 8



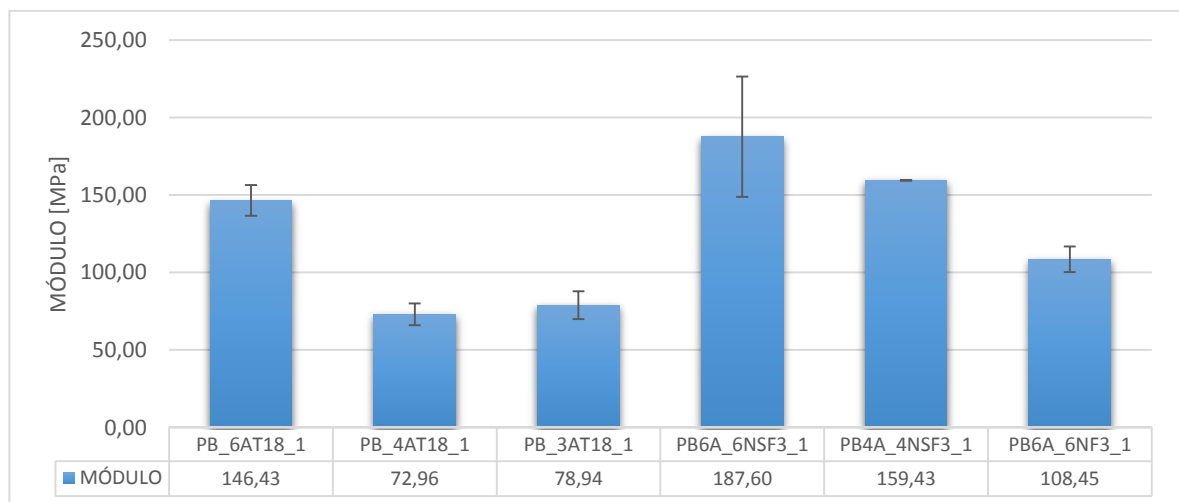
DIA 12

Figura 11. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 12



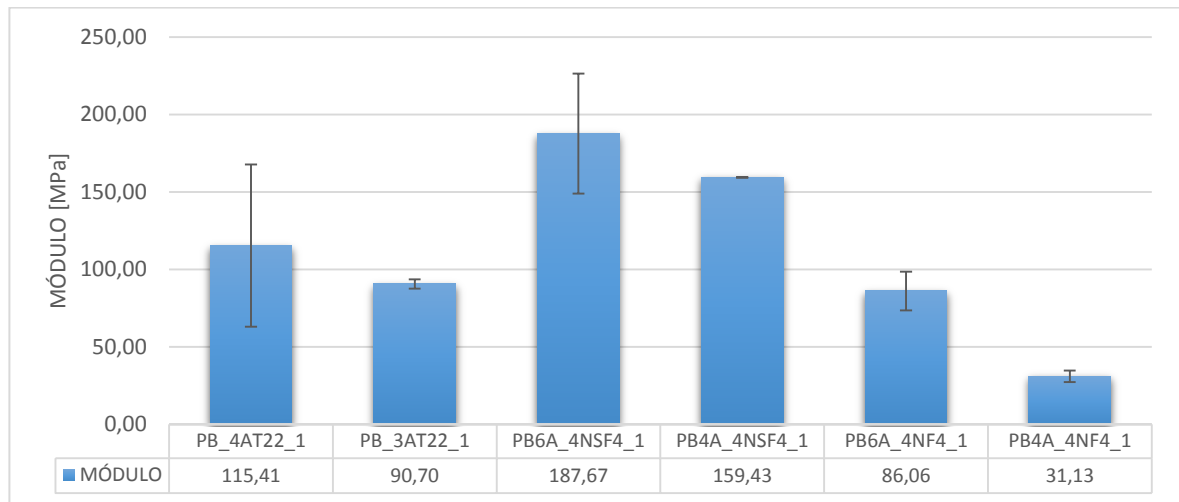
DIA 18 (SEMANA 3)

Figura 12. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 18



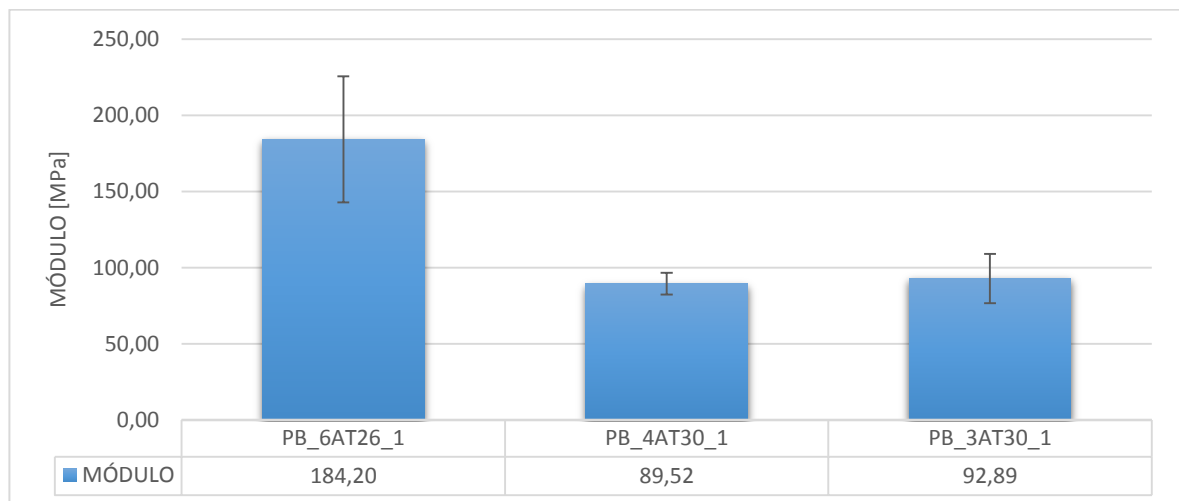
DIA 22 (SEMANA 4)

Figura 13. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 18



DIA 30

Figura 14. Prueba de módulo de Young para películas biodegradables en el día 18

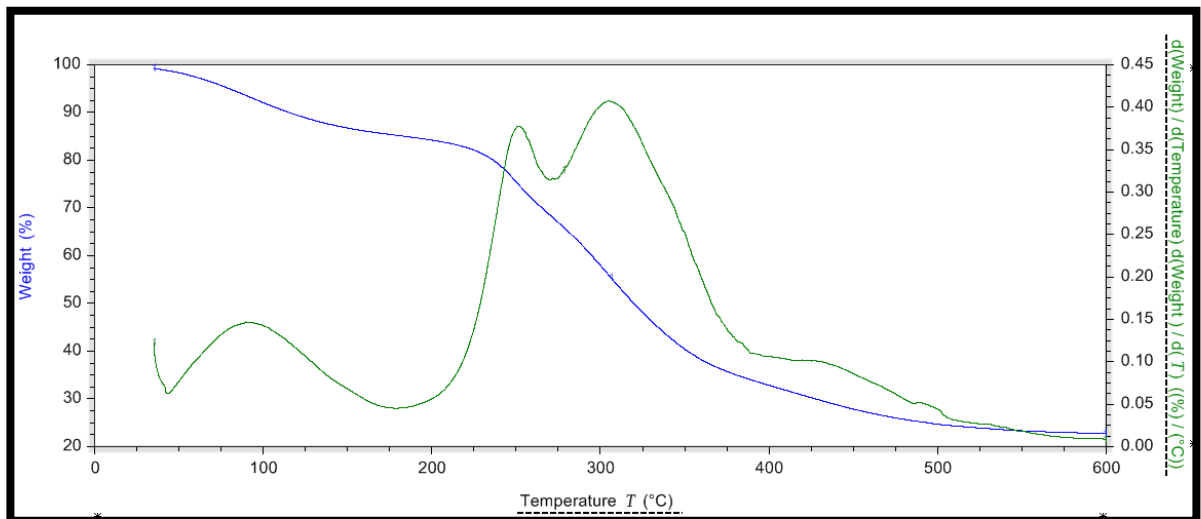


Anexo E. Pruebas termogravimétricas

Las pruebas termogravimétricas se realizaron siguiendo el análisis experimental mencionado en la metodología. Para esto, se cortaron muestras con pesos menores a 50 mg y fueron dispuestos en el equipo. Los resultados obtenidos son mostrados a continuación.

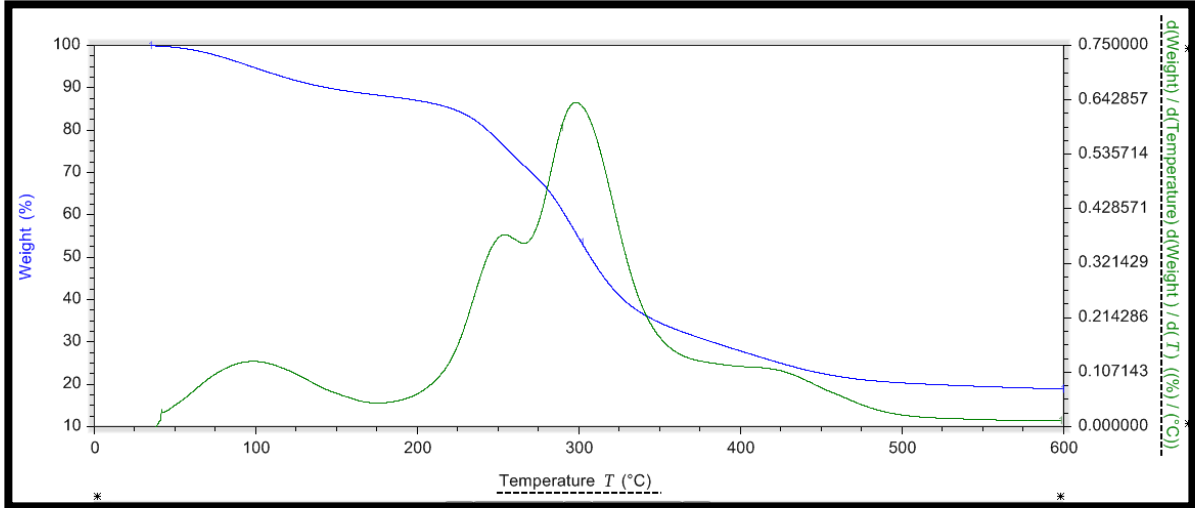
1. PB_6A

Figura 1. Pruebas TGA para película con 6% APV



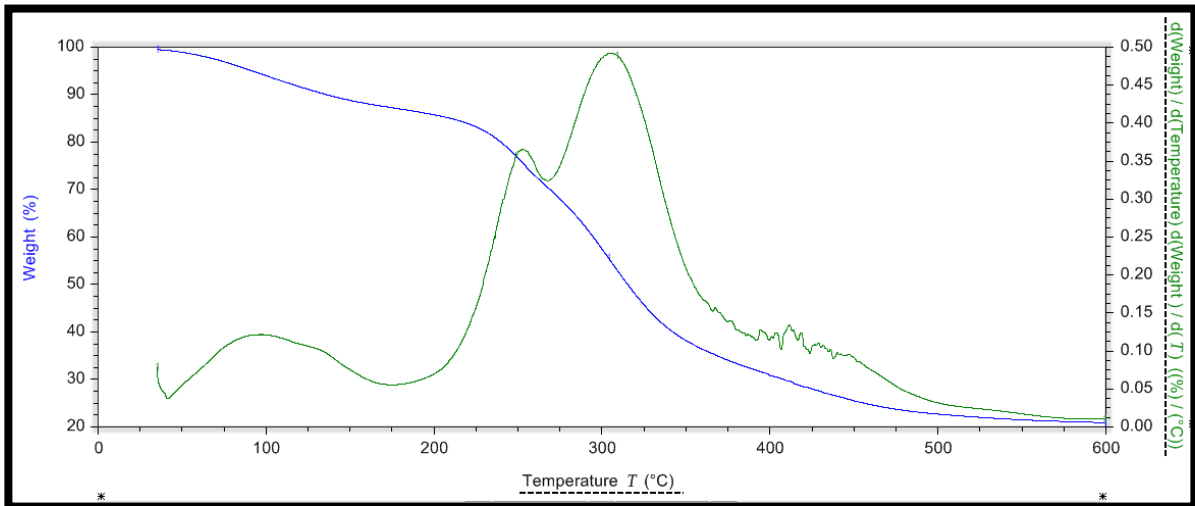
2. PB_4A

Figura 2. Pruebas TGA para película con 4% APV



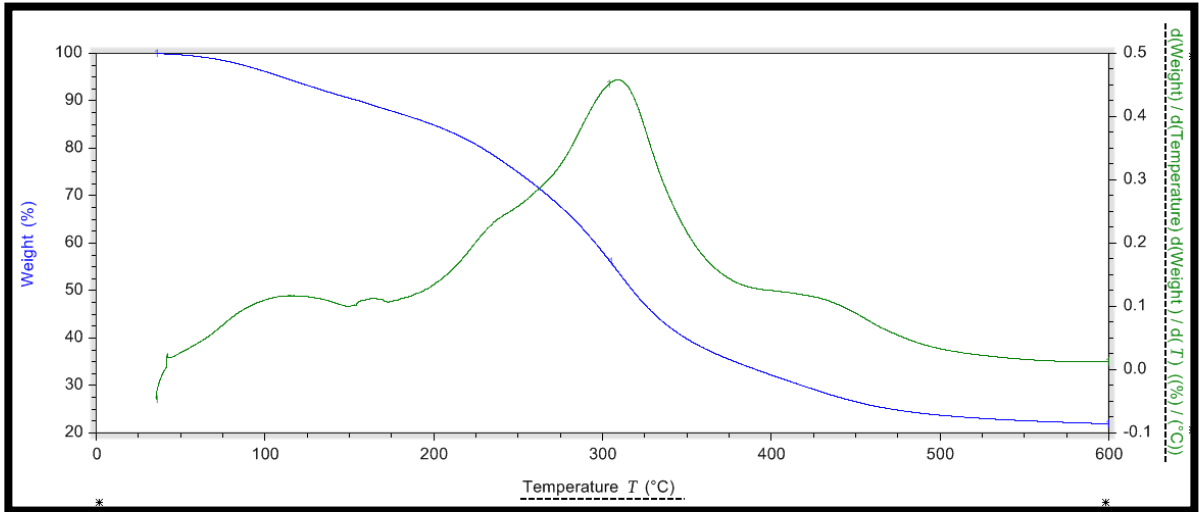
3. PB_3A

Figura 3. Pruebas de TGA para película con 3% APV



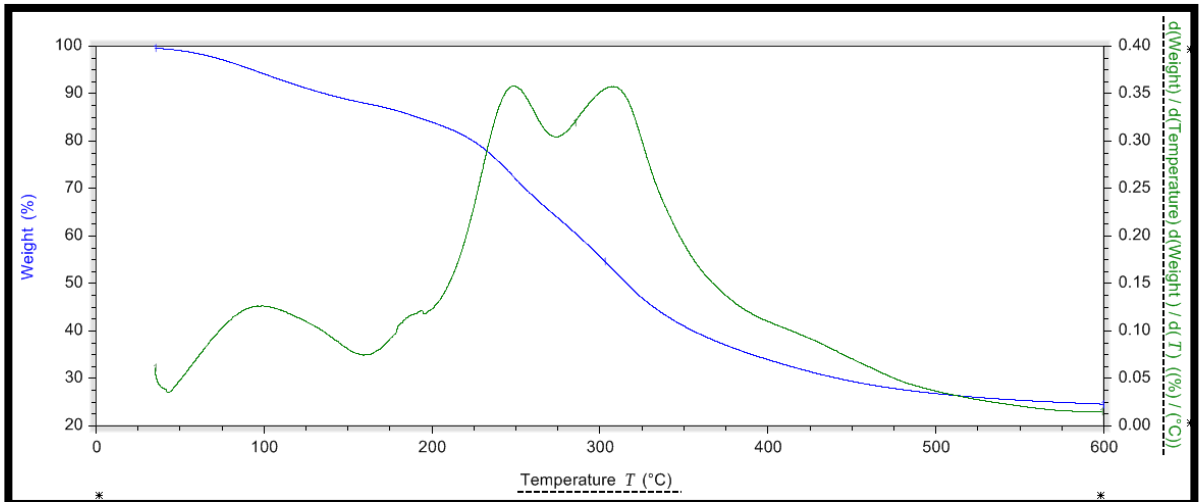
4. PB6A_4NSF

Figura 4. Pruebas de TGA para película con 6% APV y 4% de residuo agroindustrial sin filtro



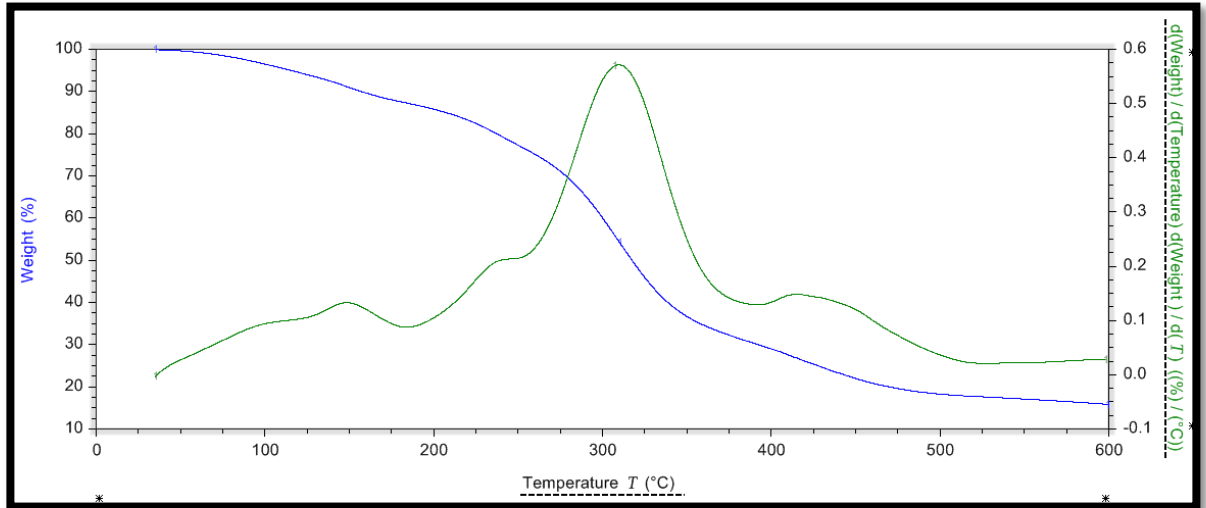
5. PB4A_4NSF

Figura 5. Pruebas de TGA para película con 4%APV y 4% de residuo agroindustrial sin filtro



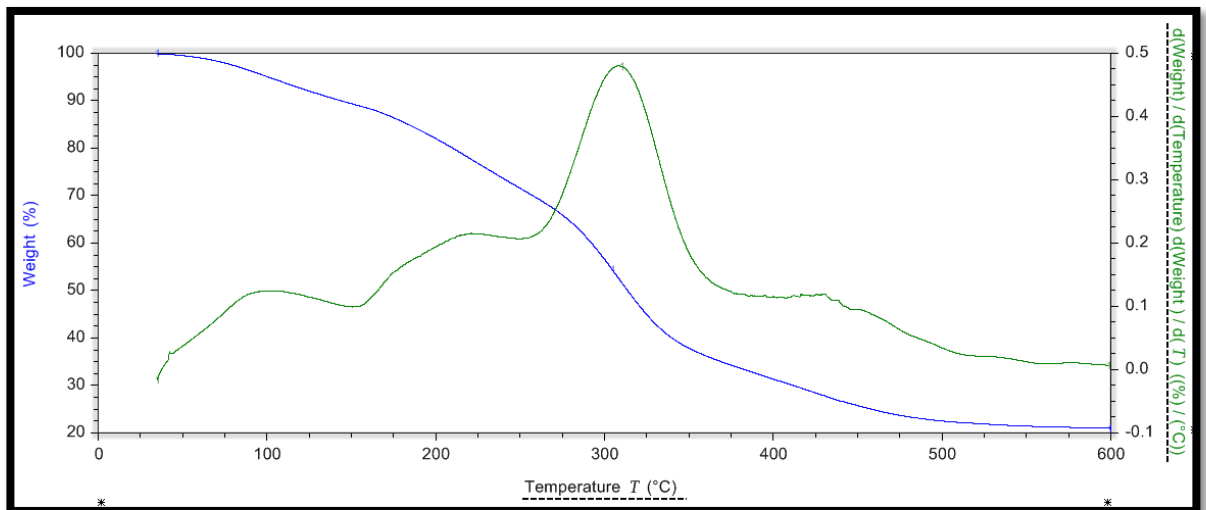
6. PB6A_4NF

Figura 6. Pruebas de TGA para película con 6% APV y 4% de residuo agroindustrial filtrado



7. PB4A_4N

Figura 7. Pruebas de TGA para película con 4% APV y 4% de residuo agroindustrial filtrado

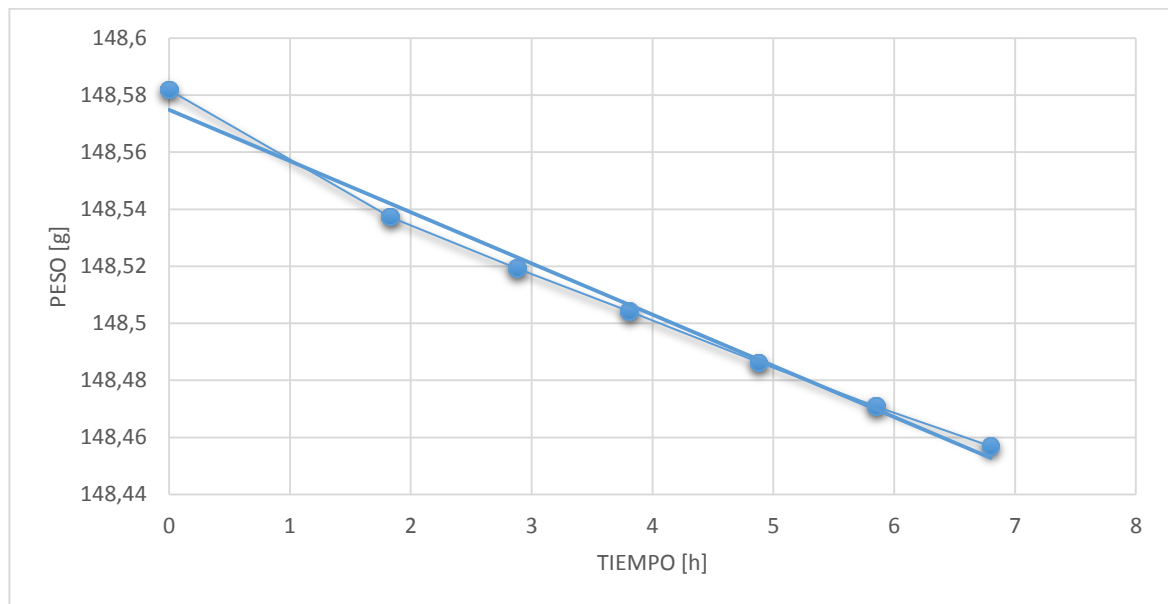


Anexo F. Pruebas permeabilidad de vapor de agua

Las pruebas de permeabilidad al vapor de agua fueron diseñadas de acuerdo al análisis experimental mencionado en la metodología según lo estipulado en la norma ASTM E96. Para esta, se estudió la relación entre la pérdida de masa y el tiempo, obteniendo una relación lineal cuya pendiente al ser dividida por el área expuesta proyecta la WVT (Velocidad de transmisión de agua) la cual nos permite realizar una comparación con otras materias primas. El área de estudio de las películas fue de 15,9 cm². Los resultados obtenidos para las 7 películas biodegradables durante un periodo de estudio de 7 horas son mostrados a continuación.

1. PB_6A

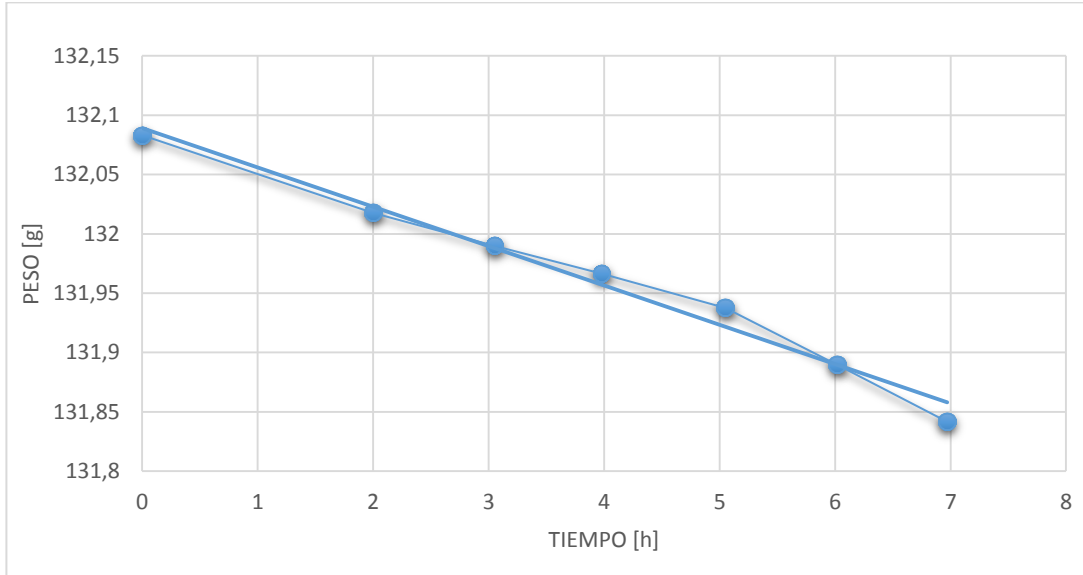
Figura 1. Pruebas de tiempo para película con 6% APV



Para este estudio, se obtuvo una pérdida de 0,018 g/h cuya estabilidad se alcanzó después 2 horas. El valor R^2 fue de 0,9899.

2. PB_4A

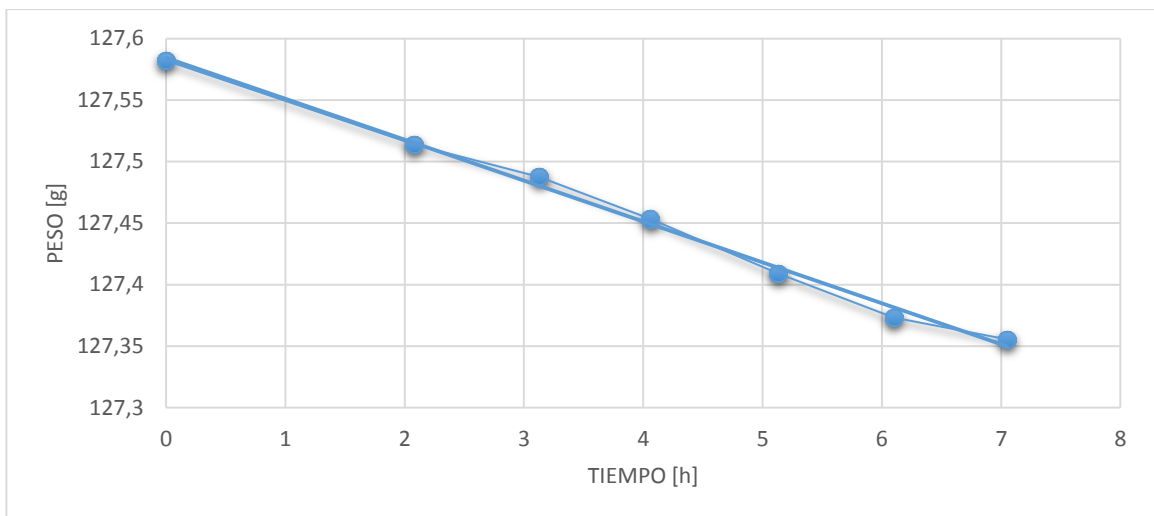
Figura 2. Pruebas de tiempo para película con 4% APV



Se obtuvo una pérdida de 0,0331 g/h cuya estabilidad se alcanzó después 5 horas. El valor R^2 fue de 0,9826.

3. PB_3A

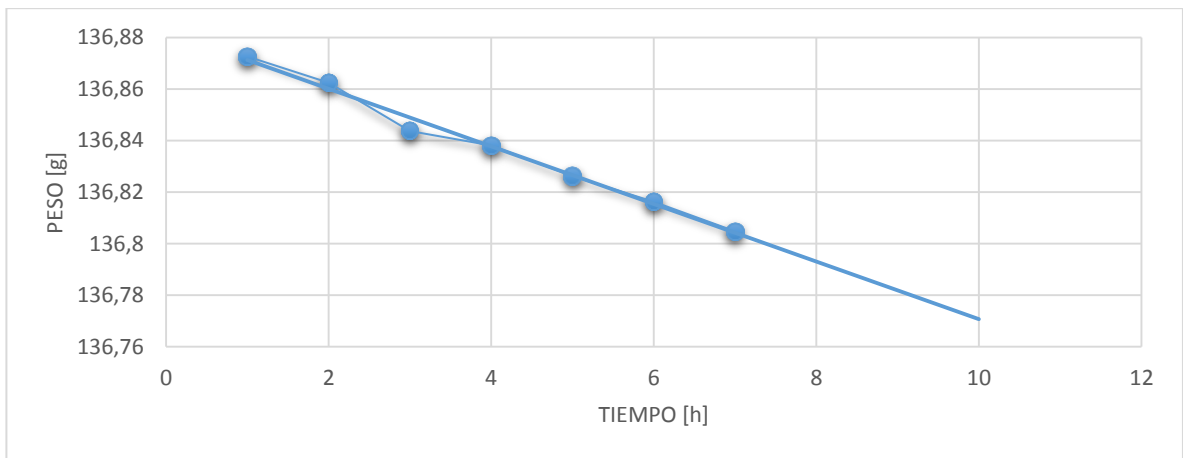
Figura 3. Pruebas de tiempo para película con 3% APV



Se obtuvo una pérdida de 0,0332 g/h cuya estabilidad se alcanzó después 4 horas. El valor R^2 fue de 0,9951.

4. PB6A_4NSF

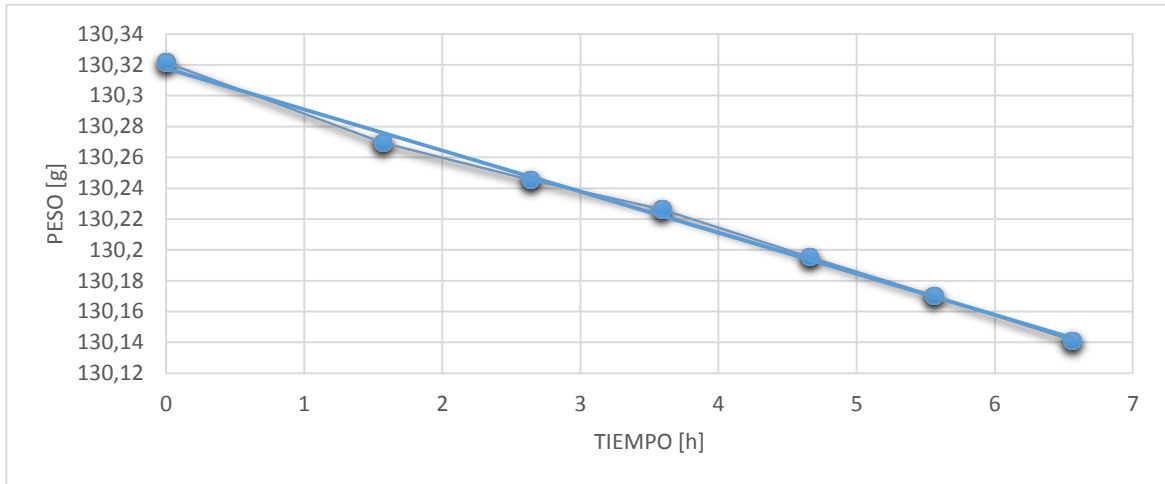
Figura 4. Pruebas de tiempo para película con 6% APV y 4% de residuo agroindustrial sin filtro



Se obtuvo una pérdida de 0,0112 g/h cuya estabilidad se alcanzó después 4 horas. El valor R^2 fue de 0,9899.

5. PB4A_4NSF

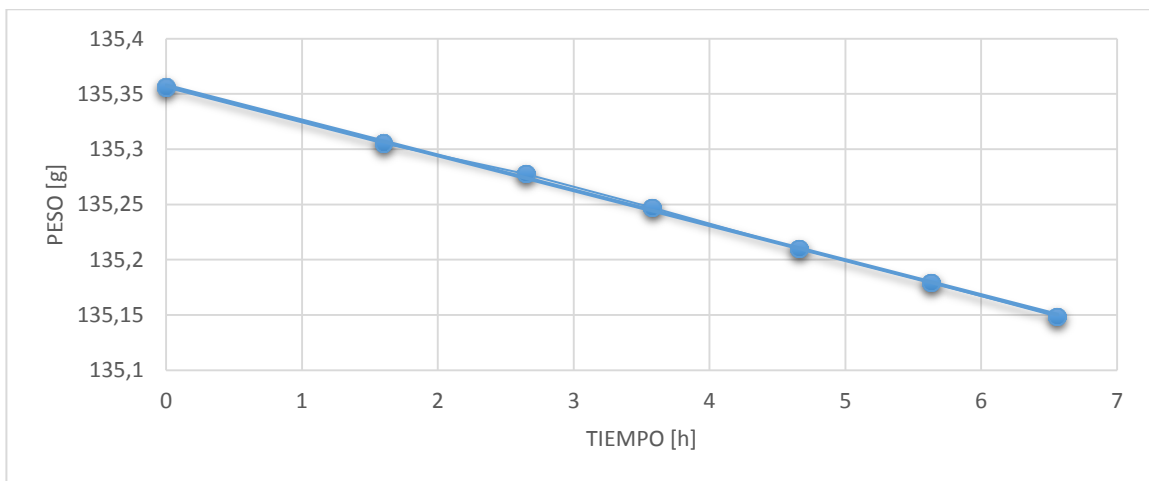
Figura 5. Pruebas de tiempo para película con 4%APV y 4% de residuo agroindustrial sin filtro



Se obtuvo una pérdida de 0,0267 g/h cuya estabilidad se alcanzó después 4 horas. El valor R^2 fue de 0,9962.

6. PB6A_4NF

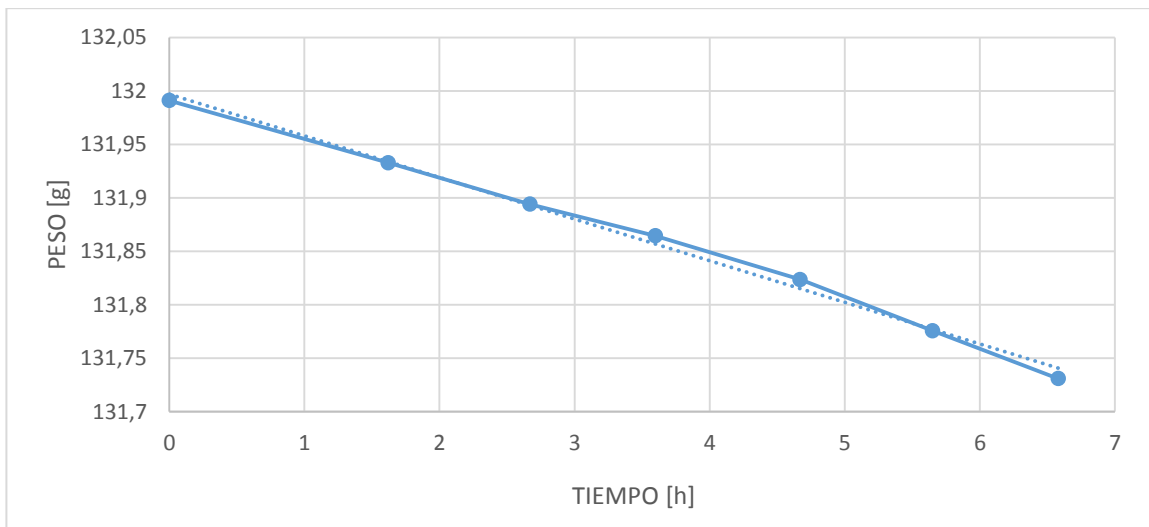
Figura 6. Pruebas de tiempo para película con 6% APV y 4% de residuo agroindustrial filtrado



Se obtuvo una pérdida de 0,0316 g/h cuya estabilidad se alcanzó después de la hora 0. El valor R^2 fue de 0,9991.

7. PB4A_4NF

Figura 7. Pruebas de tiempo para película con 4% APV y 4% de residuo agroindustrial filtrado



Se obtuvo una pérdida de 0,0389 g/h cuya estabilidad se alcanzó después 4 horas. El valor R^2 fue de 0,9946.

Anexo G. Propiedades Mecánicas de diferentes materiales

Con el fin de tener una referencia en propiedades mecánicas de varios materiales con respecto al realizado en este proyecto, se realizaron investigaciones de diferentes estándares las cuales postulan módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson reflejados en la Figura 1ⁱ.

Figura 1. Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson para diferentes materiales.

Material	Módulo de elasticidad		Coeficiente de Poisson
	GPa	10 ⁶ psi	
Polímeros			
PVC (Cloruro de polivinilo)	2,41-4,14	0,35-0,60	0,38
Epoxi:	2,41	0,35	-
Fenólico:	2,76-4,83	0,40-0,70	-
Nailon 6,6:	1,59-3,79	0,230-0,550	0,39
Polibutileno tereftalato (PBT):	1,93-3,00	0,280-0,435	-
Policarbonato (PC):	2,38	0,345	0,36
Poliéster (termofijo):	2,06-4,41	0,30-0,64	-
Poliestireno (PS):	2,28-3,28	0,330-0,475	0,33
Poliéter-éter-cetona (PEEK):	1,10	0,16	-
Polietileno Alta densidad (HDPE):	1,08	0,157	-
Polietileno tereftalato (PET):	2,76-4,14	0,40-0,60	-
Polimetil metacrilato (PMMA):	2,24-3,24	0,325-0,470	-
Polipropileno (PP):	1,14-1,55	0,165-0,225	-

ⁱ **Fuente:** Floral R.F. Peters S.T. Modern Plastic Encyclopedia'96. The McGraw- Hill Companies. New York.