



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN PETROQUÍMICA**

**TEMA: DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A
BASE DE PROTEÍNAS DE TORTAS RESIDUALES DE
SEMILLAS OLEAGINOSAS Y GOMAS NATURALES PARA SU
APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS.**

AUTOR: JONATHAN JAVIER SAYAVEDRA DELGADO

DIRECTOR: DR. ROMAN RODRÍGUEZ MAECKER PH.D.

LATACUNGA

2018

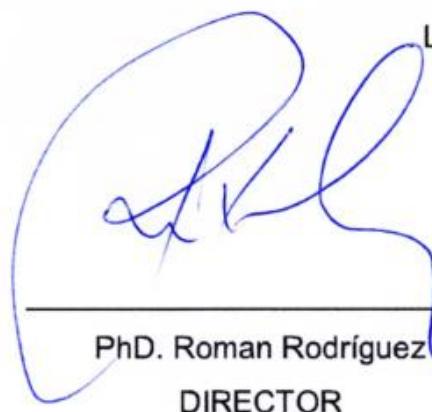


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el proyecto de investigación, “**DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A BASE DE PROTEÍNAS DE TORTAS RESIDUALES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS Y GOMAS NATURALES PARA SU APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS.**” realizado por **JONATHAN JAVIER SAYAVEDRA DELGADO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a **JONATHAN JAVIER SAYAVEDRA DELGADO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, marzo de 2018



Ph.D. Roman Rodríguez
DIRECTOR





DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Jonathan Javier Sayavedra Delgado**, con cédula de ciudadanía N° 050286585-0 declaro que el presente proyecto de investigación, **“DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A BASE DE PROTEÍNAS DE TORTAS RESIDUALES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS Y GOMAS NATURALES PARA SU APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, marzo de 2018



Javier Sayavedra Delgado

C.C.: 050286585-0



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **JONATHAN JAVIER SAYAVEDRA DELGADO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la Biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A BASE DE PROTEÍNAS DE TORTAS RESIDUALES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS Y GOMAS NATURALES PARA SU APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, marzo de 2018

Javier Sayavedra Delgado

C.C.: 050286585-0

DEDICATORIA

“Es difícil saber qué es imposible, el sueño de ayer es la esperanza de hoy y la realidad del mañana”

Robert H. Goddard.

Dedicado a:

A Dios, por darme en cada despertar la oportunidad de realizar mis sueños, porque en su tiempo todo es mágico.

Mas que una dedicatoria es un reconocimiento al esfuerzo, trabajo y dedicación de mis padres, pues no soy nada sien ellos, me enseñaron el valor de cada cosa, el valor de cada dólar que se obtiene y que nada en la vida es fácil, pero que con el esfuerzo y dedicación siempre la recompensa es más satisfactoria.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por saber guiarme por el camino del bien; corregirme y además por esos consejos que nunca están demás, gracias por todos los momentos en los cuales estuvieron ahí para mi hermano y para mí.

A mi hermano, por ser quien me inspira día a día ser mejor, por su genio y ocurrencias por sus consejos y miles de historias que hemos pasado, por el cambio que tuvo, por haber regresado a ser el hermano que tuve al inicio y que volvió ahora, siempre cuenta conmigo.

A Alba y a esos 3 años juntos, llenos de locuras, comidas, enojos, risas, viajes y miles de kilómetros que hemos recorrido hasta ahora juntos, nos queda una vida para seguirla viviendo.

Un agradecimiento muy especial para Dr. Roman Rodríguez pues desde el primer momento me abrió las puertas con sus consejos y por darme la libertad de trabajar en mi proyecto sin estar demás sus indicaciones y conocimiento, al Ing. David Luna quien me ayudó de distintas formas y supo brindarme el conocimiento que posee y lograr así, la culminación de este trabajo.

A mis amigos, compañeros y conocidos que durante esta etapa hemos logrado entablar una gran amistad, en la cual me ayudaron y regañaron, al darnos consejos sanos; fueron una mano abierta, un hombro en el cual apoyarnos y un abrazo de alivio, para saber que los verdaderos amigos son los que nacen del afecto y comprensión, mas no los que se hacen por interés.

Javier

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes	4
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Justificación e importancia	7
1.4. Objetivos	10
1.4.1. Objetivo General	10
1.4.2. Objetivos Específicos	10
1.5. Hipótesis	10

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	11
2.1.	Química Verde	11
2.3.	Materiales poliméricos biodegradables	13
2.4.	Nuevos materiales poliméricos.....	14
2.2.	Composición de las películas	15
2.2.1.	Matriz polimérica	16
2.2.2.	Proteína	16
2.2.3.	Plastificantes	17
2.2.4.	Aditivos.	19
2.5.	Método de formación de película.	19
2.6.	Tortas de semillas oleaginosas	21
2.7.	Gomas naturales.....	24
2.8.	Diseño experimental	27
2.9.	Ensayos mecánicos.	29
2.9.1.	Módulo de Young.	30
2.9.2.	Fuerza de tensión.	31
2.9.3.	Resistencia a la tracción y elongación final	31
2.10.	Técnicas de análisis térmico.	31
2.10.1.	Calorimetría diferencial de barrido.....	31
2.10.2.	Análisis termogravimétrico.	32
2.11.	Ensayos físico-químicos.....	33
2.12.	Características estructurales.	34
2.13.	Estado del arte.....	35

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	37
-----------	--------------------------	-----------

3.1.	Equipos, materiales y reactivos.....	37
3.1.1.	Equipos.....	37
3.1.2.	Materiales.....	37
3.1.3.	Reactivos.....	38
3.2.	Obtención de la materia prima.....	38
3.3.	Acondicionamiento de las tortas.....	38
3.4.	Desengrasado de las tortas.....	39
3.5.	Extracción de la proteína.....	40
3.6.	Diseño experimental.....	41
3.7.	Preparación de las películas.....	42
3.8.	Pruebas fisicoquímicas.....	43
3.8.1.	Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA).....	43
3.8.2.	Solubilidad.....	44
3.8.3.	Contenido de humedad (%).....	44
3.8.4.	Espesor.....	45
3.8.5.	Transparencia.....	45
3.9.	Ensayos mecánicos.....	45
3.9.1.	Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.....	45
3.10.	Técnicas de análisis térmico.....	46
3.10.1.	Calorimetría diferencial de barrido.....	46
3.10.2.	Análisis termogravimétrico.....	47
3.11.	Características estructurales.....	47
3.11.1.	Espectrómetro infrarrojo de transformada de Fourier (FT-IR).....	47

CAPÍTULO IV

4.	Análisis de resultados.....	49
4.1.	Acondicionamiento de las tortas.....	49

4.2.	Contenido de proteína de las tortas.....	49
4.3.	Desengrasado de las tortas.....	50
4.4.	Extracción de proteína	52
4.5.	Formación de Películas.....	52
4.6.	Espesor.....	54
4.7.	Solubilidad	55
4.8.	Análisis de diseño experimental	58
4.9.	Permeabilidad al vapor de agua	59
4.10.	Porcentaje de humedad	62
4.11.	Transparencia	64
4.12.	Ensayo de resistencia a la tracción	65
4.13.	Calorimetría diferencial de barrido	66
4.14.	Análisis termogravimétrico	67
4.15.	Análisis de FT-IR.....	69

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1.	Conclusiones.	73
5.2.	Recomendaciones.	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades del Glicerol	18
Tabla 2	Composición aproximada de la torta de ajonjolí	22
Tabla 3	Composición aproximada de la torta de sachá inchi	23
Tabla 4	Fuentes de Gomas Naturales	25
Tabla 5	Tratamientos y niveles de un diseño experimental	29
Tabla 6	Factores y niveles de estudio	41
Tabla 7	Diseño experimental	42
Tabla 8	Rendimiento de trituración de las tortas.	49
Tabla 9	Contenido de proteína.....	50
Tabla 10	Porcentaje de Aceite contenido en las tortas	51
Tabla 11	Porcentaje promedio del tamizado de las tortas desengrasadas...51	
Tabla 12	Rendimiento de extracción de proteína	52
Tabla 13	Ensayos previos a la formación de películas.....	53
Tabla 14	Espesor de la Películas biodegradables.	54
Tabla 15	Solubilidad de las películas biodegradables	55
Tabla 16	Análisis de varianza	58
Tabla 17	Prueba de Tukey.....	59
Tabla 18	Transparencia de películas biodegradables	64
Tabla 19	Resumen del Análisis Termogravimétrico de películas óptimas ...69	
Tabla 20	Picos de absorción característicos de espectro FTIR.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tiempo de descomposición de plásticos	8
Figura 2 Curva de Esfuerzo (%) para: (a) Termoplásticos, (b) Termoestables y (c) Elastómeros.....	15
Figura 3 Fuentes de biopolímeros	16
Figura 4 Esquema de procesos para la obtención de películas de proteína.....	20
Figura 5 Semillas de ajonjolí y torta de ajonjolí	22
Figura 6 Semillas de Sacha Inchi y Torta de Sacha Inchi	23
Figura 7 Semillas de Soya y Torta de Soya	24
Figura 8 Estructura de la goma guar.....	26
Figura 9 Estructura química de la goma tragacanto.....	26
Figura 10 Estructura química de la goma xantana	27
Figura 11 Variables de un proceso para el diseño experimental	29
Figura 12 Curva esfuerzo- deformación.....	30
Figura 13 Termograma de DSC.....	32
Figura 14 Termograma b) diferencial con eje izquierdo y a) convencional con eje derecho.....	33
Figura 15 Accesorio horizontal de cristal ATR. S, muestra; D, detector; I, IR; IRE, elemento interno de reflexión.	35
Figura 16 Equipo de desengrasado.	39
Figura 17 Tamiz mallado 80	40
Figura 18 Máquina de ensayos universales	46
Figura 19 Equipo DSC METTLER TOLEDO	46
Figura 20 Equipo de TGA PerkinElmer	47
Figura 21 Equipo ATR - FTIR Perkin Elmer	48
Figura 22 Secado de la solución formadora.....	53
Figura 23 Tendencia de solubilidad de las Películas.....	57
Figura 24 Permeabilidad al vapor de agua de películas de Ajonjolí	60
Figura 25 Permeabilidad al vapor de agua de películas de Sacha Inchi	60
Figura 26 Permeabilidad al vapor de agua de películas de Soya.....	61
Figura 27 Gráfico de interacción para análisis estadístico	62
Figura 28 Contenido de humedad de las películas	63

Figura 29 Grafica de resistencia a la tracción	65
Figura 30 Ensayo de tracción	66
Figura 31 Termograma de DSC.....	67
Figura 32 Termograma de películas de a) soya – tragacanto y b) sachá inchi - tragacanto	68
Figura 33 Espectro FTIR de las Películas de Proteína de sachá Inchi con goma tragacanto en el intervalo de 4000-600 cm ⁻¹	71
Figura 34 Espectro FTIR de las Películas de Proteína de b) soya con goma tragacanto en el intervalo de 4000-600 cm ⁻¹	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Permeabilidad al vapor de agua.....	41
Ecuación 2. Calculo de solubilidad.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de contenido de proteína	83
Anexo 2. Datos del diseño experimental	84
Anexo 3. ANOVA y Test Tukey	86
Anexo 4. Diagrama resumen de proceso de desengrasado de las tortas	90
Anexo 5. Diagrama resumen de la formación de películas	91
Anexo 6. Resumen del proceso de preparación de las tortas residuales	92
Anexo 7. Proceso de extracción de las proteínas	92
Anexo 8. Formación de las películas	94

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FT-IR. Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier.

TGA. Análisis termogravimétrico.

DSC. Calorimétrica diferencial de barrido.

g. gramos

rpm. Revoluciones por minuto

UV. Ultravioleta

°C. Grados centígrados

ml. Mililitros

M. Concentración molar

p/v. Relación peso sobre volumen

TD. Torta desengrasada

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo el desarrollo de películas comestibles compuestas de tres proteínas diferentes extraídas mediante el método álcali de tortas que son un subproducto de la extracción a escala industrial de aceite. La harina que se obtiene de estas tortas desengrasadas puede usarse como una fuente viable y de bajo costo en la formación de películas biodegradables. Se prepararon películas de proteínas provenientes de ajonjolí, sachá inchi y soya, manteniendo constante la cantidad de proteína de 9 g y de plastificante 10%(en base a proteína), se evaluó el efecto de la concentración de las gomas guar, tragacanto y xantana en dos niveles 0,05 y 0,08g, en las propiedades de barrera que ofrecen las películas para este estudio se enfocó en la permeabilidad al vapor de agua. Se utilizó un diseño experimental multifactorial de 3 factores con distintos niveles, donde se pretende elegir la película que ofrece una mejor barrera al vapor de agua, se utilizó películas sin ningún tipo de goma como películas de control para ver el efecto de las gomas en las propiedades. Además, se caracterizó la película en propiedades mecánicas, térmicas y físicas como solubilidad, contenido de humedad y espesor. La solubilidad de las películas se encontró entre 5,32% y 33%, el contenido de humedad entre 9 y 18%, el tratamiento con soya y 0,08g de goma tragacanto presento la menor permeabilidad al agua, y una resistencia a la tracción de 7,74MPa.

Palabras clave:

- **TORTAS RESIDUALES**
- **GOMA GUAR**
- **GOMA TRAGACANTO**
- **GOMA XANTANA**
- **PELÍCULAS BIODEGRADABLES.**
- **BIODEGRADACIÓN**

ABSTRACT

The objective of the present titration work was the development of edible films composed of three proteins extracted by the cakes method, which are a by-product of the extraction on an industrial scale of oil. The flour obtained from these degreased cakes can be used as a viable and inexpensive source in the formation of biodegradable films. Protein films from sesame seeds, sacha inchi and soybeans are prepared, keeping the amount of protein of 9 g of plasticizer 10% constant (based on protein), the effect of the concentration of guar, tragacanth and xantana gums is evaluated Two levels 0.05 and 0.08g, in the barrier properties offered by the films for this study focused on the water vapor permeability. We used a multifactorial 3-factor experimental design with several levels, where you can choose the film that offers a better barrier to water vapor, you can use films without any control like the control films to see the effect of the gums in the properties. It was also characterized by the film in mechanical, thermal and physical properties as solubility, moisture content thicken. The solubility of the films is between 5.32% and 33%, the moisture content between 9 and 18%, the treatment with soybean and 0.08 g of tragacanth gum have the lowest water permeability, and a tensile strength. of 7.74MPa.

Key words:

- **RESIDUAL CAKE**
- **GUAR GUM**
- **TRAGACANTH GUM**
- **XANTHAN GUM**
- **BIODEGRADABLES FILMS**
- **BIODEGRADATION**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace largo tiempo los polímeros provenientes de los derivados del crudo de petróleo se han vuelto indispensables en el diario vivir, como materiales comunes de envasado, debido a sus características como ligereza, resistencia, transparencia y maleabilidad. No obstante, el uso indiscriminado de las películas de envasado sintético ha generado graves problemas ecológicos debido a su total no biodegradabilidad.

Aunque el reemplazo completo de las películas convencionales de envasado con películas amigables con el medioambiente es sin duda imposible de lograr, se pretende buscar una alternativa para aplicaciones específicas de vida corta como envasado de alimentos.

Los nuevos materiales basados en recursos renovables son de gran importancia en los últimos tiempos debido a la gran acumulación de los plásticos provenientes de los derivados del petróleo, como el polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), policloruro de vinilo (PVC), polietileno (PE), poliestireno (PS), que cada vez más se van centralizando como materiales de envasado, esto se debe a su coste relativamente bajo y gran disponibilidad como también a su buen comportamiento mecánico, en propiedades como resistencia a la tracción, elongación y propiedades de permeabilidad.

Los materiales comúnmente utilizados como envases terminan la mayoría de las veces contaminados por productos alimenticios y sustancias biológicas, por lo que el reciclaje de estos resulta irrealizable, finalmente millones de toneladas de plásticos se depositan en vertederos, aumentando paulatinamente cada año el problema de la eliminación de los residuos municipales.

Los biopolímeros procedentes de recursos renovables es una nueva alternativa a la utilización de empaques. La síntesis de nuevos materiales

poliméricos a partir de recursos renovables naturales se ha convertido en un área de rápido crecimiento, ya que estos materiales podrían reemplazar total o parcialmente los plásticos desfavorables para el medio ambiente y la energía derivados de productos químicos del petróleo. Sin embargo, las aplicaciones de polímeros renovables están significativamente detrás de los polímeros derivados del petróleo, en parte debido al costo relativamente alto limitaciones en los recursos de monómeros y, por lo tanto, polímeros derivados. Por lo tanto, el desarrollo de nuevos monómeros escalables, de bajo costo y de fuentes renovables se vuelve esencial y necesario.

1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia, la ciencia y la tecnología han avanzado a tal punto que la disponibilidad de nuevos materiales y procesos de fabricación ha contribuido significativamente durante todas las etapas de desarrollo de la humanidad, llegando a convertirse en un motor de la innovación. Los polímeros surgieron a principios del siglo XX, la baquelita fue el primer plástico sintético patentado en el año de 1909 por Leo Baekeland, posteriormente apareció el nylon en 1930, el cual se convirtió en un polímero indispensable en la elaboración de prendas de vestir, y fue así como se dio inicio a la implementación de los materiales poliméricos, pasando del uso de resinas naturales a plásticos y cauchos sintéticos. (García, 2008)

En los últimos años se ha tomado importancia a los materiales poliméricos basados en derivados del crudo de petróleo, debido a que estos polímeros sintéticos son los más utilizados para la producción de materiales de envasado, que son típicamente desechados después de su uso, que hace que la generación de basura se incremente debido al derroche diario de productos de consumo masivo como bebidas, alimentos envasados, fundas, etc. De los plásticos que se consumen a diario solo un pequeño porcentaje será reciclado y en su mayoría terminara en rellenos sanitarios, enganchados en árboles, obstruyendo alcantarillas y formando redes de basura en océanos, esteros y ríos donde permanecerán entre 400 y 100

años hasta poder reducirse en partículas tóxicas de menor tamaño, que debido a su origen mineral tienen la particularidad de no biodegradarse y ser contaminante. (El Universo, 2013)

La concientización con respecto a la generación de basura ha llevado al desarrollo de películas de envasado hechas de materiales biológicos que sean un sustituto de los derivados del petróleo y que sean biológicamente degradables en menor tiempo. (Cho, Skrifvars, Hemanathan, Mhimaissenan, & Adekunle, 2014)

Los polímeros comestibles como películas de envasado de alimentos han sido un gran atractivo para la investigación, por lo que continuamente van incrementado los estudios y estableciendo su potencial aplicación como embalaje de alimentos, debido tanto a las preocupaciones del medio ambiente como a las demandas de los consumidores por productos alimenticios de alta calidad, que no se deriven después en contaminación por envolturas. (Sharma & Singh, 2016)

1.2. Planteamiento del problema

A partir del surgimiento del plástico y de su industrialización, un gran porcentaje de los mismos se transformaron en residuos contaminantes. En la actualidad, la comodidad característica de la sociedad ha generado un consumo excesivo de productos desechables, elaborados de plásticos, por lo que año tras año se generan alrededor de 500 billones y un trillón de bolsas plásticas, de las cuales apenas el 1% es reciclado. El 75,20% de hogares ecuatorianos utilizan fundas plásticas desechables para realizar sus compras diarias y el 22,38% son hogares que toman consciencia y utilizan bolsas ecológicas que son hechas de material reutilizable o tela. (Sánchez, 2010)(Ecuador en Cifras, 2014)

En general, la sociedad no tiene una cultura de reciclaje, y poseen una dependencia al uso cotidiano de envases, bolsas, etc. que son productos derivados de petróleo, y a su vez son un problema pues su disposición final deriva a una acumulación en los vertederos que son focos de contaminación.

Por lo tanto, es indispensable la búsqueda de nuevos materiales poliméricos con propiedades similares a las de los plásticos, pero de naturaleza biodegradable, es decir, que provengan de fuentes renovables. (Commission, 2015)

Los residuos sólidos producidos a nivel mundial son considerados como uno de los principales subproductos del creciente desarrollo urbano, y representan una de las tantas fuentes de contaminación del suelo, agua y aire, con un alto porcentaje de causar riesgo y afectación a la salud pública en corto, mediano o largo plazo. Entre los factores que potencializan la generación y acumulación de residuos sólidos, se encuentran los nuevos patrones de consumo y las crecientes tasas de urbanización e industrialización.

Hoy en día, los millones de toneladas de desechos plásticos que se generan a nivel mundial constituyen una amenaza ambiental no cuantificada. El 80% de los residuos sólidos generados en tierra firme tienen como destino final ecosistemas acuáticos como ríos, mares y océanos. El PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) estima que unos 5 a 50 billones de fragmentos de desechos plásticos flotan por cada kilómetro cuadrado de océano, cifra que pone en evidencia el grave problema que enfrenta la fauna y la flora marina, ya que son millones de animales y aves que mueren por asfixia, estrangulamiento, inanición al quedar atrapados entre estos desechos o desnutrición tras ser ingeridos y bloquear el estómago o intestino del animal. (UNEP, 2016)

Se estima que para el año 2020 el ritmo de producción de plásticos habrá aumentado un 900% con respecto a niveles de 1980 (más de 500 millones de toneladas anuales). En la última década se estima que se producirá la mitad. (Commission, 2015)

Según el INEC, Ecuador al momento cuenta con una población de 16'657'155 habitantes, de los cuales el 63% habita en el área urbana y el 37% restante en el área rural. El 77% de los hogares ecuatorianos eliminan sus residuos mediante de carros colectores (SENPLADES, 2013). El consumo per cápita anual de plástico para el 2015 fue de 20kg, lo que hace

que la generación de basura sea un problema al igual que la disposición final de estos. (Instituto Petroquímico Ecuatoriano, 2015)

1.3. Justificación e importancia

En la actualidad una gran cantidad de artículos de uso cotidiano e industrial son elaborados de forma total o parcial con algún tipo de plástico; su afinidad de usos y aplicaciones lo han convertido en parte indispensable de nuestro entorno y estilo de vida. Sin embargo, su resistencia y durabilidad, características que inicialmente fueron consideradas como ventajas, hoy en día son objeto de gran preocupación ya que los plásticos al ser materiales de difícil degradación se acumulan en las superficies donde son depositados y contaminan grandes masas de tierra y volúmenes de agua.

La carrera de Petroquímica en su misión busca “Proporcionar e implantar alternativas de solución a los problemas de la colectividad para promover el desarrollo integral del Ecuador”, por lo tanto, los esfuerzos de implementar una petroquímica responsable para elaborar productos e idear soluciones amigables con el medio ambiente se plasman en este proyecto que se enfoca en buscar alternativas sustentables a los plásticos sintéticos que cumplan con las mismas propiedades, pero con la ventaja de que sean biodegradables y provengan de fuentes renovables. En la Figura 1 se puede apreciar el tiempo que se demora en descomponerse los plásticos.

Plásticos: ¿Cuánto tiempo tardan en descomponerse?

El mismo tiempo que hace que...







HILO DE PESCA 	± 600 años	Colón llegó a América (1492)
BOTELLA 	± 500 años	Nació Cervantes (1547)
CUBIERTOS 	± 400 años	Galileo Galilei dijo: "La tierra es redonda" (1630)
MECHERO	100 años	Se hundió el Titanic (1912)
VASO 	65 - 75 años	Terminó la II Guerra Mundial (1945)
BOLSA 	55 años	Llegó el hombre a la Luna (1969)
SUELA DE ZAPATO	10 - 20 años	1° telefono móvil con pantalla de color (2000)
COLILLA	1 - 5 años	Accidente de Fukushima (2011)
GLOBO 	6 meses	Acuerdo del Clima de París (2015)

Figura 1 Tiempo de descomposición de plásticos

Fuente: Adaptado de GreenPeace.org

Los plásticos convencionales son materiales orgánicos sintéticos que provienen del petróleo, pertenecen al grupo de los polímeros y su nombre se deriva de sus propiedades plásticas, que son fácilmente moldeables y maleables por efecto de la temperatura y presión antes de su endurecimiento. Estas características los hacen susceptibles de adoptar distintas formas, colores y propiedades singulares como elasticidad, resistencia tanto al calor como al frío, resistencia al impacto y a los ácidos, dureza y un sinfín de características. Además, por su baja densidad, baja conductividad eléctrica y bajo costo de producción se han convertido en materiales idóneos para su uso en una afinidad de aplicaciones que van desde fundas, envases, aislamiento eléctrico hasta prótesis, tuberías, fibras textiles, etc. (Baillie, 2004)

En Ecuador, se va incrementando la cultura de reciclaje, ya sea por necesidad económica o por ayudar al medio ambiente, en el país existen microempresas que exportan pellets de plásticos reciclados como también juguetes caninos. (Instituto Petroquímico Ecuatoriano, 2015)

Cada vez la necesidad de aprovechar de una manera más responsable los recursos disponibles en la naturaleza con el fin de reducir desechos,

promueve actividades como reciclaje y la investigación de materiales amigables con el ambiente. Por lo tanto, se busca introducir en el campo de manufactura materiales cuyas propiedades sean el resultado de la combinación de las de subelementos de origen natural, que permiten acelerar y originar un proceso apto para la degradación.

El desarrollo de materiales biodegradables que presenten la funcionalidad y versatilidad de los plásticos convencionales y que además se deriven de recursos renovables constituye la mejor alternativa frente a los graves problemas ambientales que se viven en la actualidad.

El proyecto busca desarrollar películas de origen orgánico empleando proteínas de las tortas residuales de las semillas oleaginosas que son un subproducto de la extracción de aceites vegetales. También se pueden añadir gomas naturales como reforzamiento de las películas, lo que mejora sus propiedades como mecánicas como fuerza de tensión, permeabilidad, etc.

La necesidad de la sociedad actual al uso de fundas y empaques desechables, generan anualmente un número elevado de basura plástica por lo que se abre la necesidad de alternativas para la producción de materiales amigables con el ambiente, que a su vez ayudan a promover la química verde.

Unos de los principios de la química verde que se asocia perfectamente al presente proyecto es el Principio #10: Generar productos Biodegradables y el uso de materias primas renovables, ya que se pretende usar materias primas de origen vegetal que no persisten en el medio ambiente y poseen facilidad de degradarse, con lo que se evita la acumulación y la contaminación del medio ambiente. (Anastas & Warner, 1998)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar de películas biodegradables a base de proteínas de tortas residuales de semillas oleaginosas y gomas naturales para su aplicación como recubrimiento de alimentos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la concentración de proteína contenida en las tortas residuales de la extracción de aceites de semillas oleaginosas como soya, sachá Inchi y ajonjolí.
- Identificar los beneficios en las propiedades de barrera al añadir las gomas naturales de guar, xantana y tragacanto.
- Analizar la composición final de la muestra más viable en base a las Normas ASTM.
- Evaluar la efectividad de las películas en base a proteínas mediante pruebas como permeabilidad, solubilidad, transparencia, contenido de humedad y propiedades mecánicas como fuerza de tensión, elongación y módulo de Young.

1.5. Hipótesis

Es viable la utilización de películas de proteína para la conservación de alimentos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Química Verde

La química verde o sustentable es un término nuevo que trata sobre la creación o recreación de productos y procesos químicos con lo que se pretende reducir y en muchos casos eliminar el uso y generación de sustancias nocivas que puedan causar daño tanto a la salud humana y al medio ambiente. De acuerdo con la EPA, la química verde se define como una química que diseña productos y procesos químicos que son inofensivos para el medioambiente, eludiendo la formación de contaminantes. Para calificar como “Verde”, indispensablemente en cada reacción debe tener tres componentes verdes: disolvente, reactivo/catalizador y consumo de energía. (Ecoembes, Ecoembalajes España S.A., 2008)

Varios de los procesos que se han desarrollado a la fecha en base a la Química Verde están presentes aproximadamente en todas las áreas de la química, como por ejemplo la orgánica, inorgánica, bioquímica, polimérica, ambiental, toxicológica, física, etc. La química verde no es una disciplina científica separada, sino que realza la responsabilidad interdisciplinaria de las ciencias, basándose en la responsabilidad química, ecológica y social. (Ivanković, Dronjić, Bevanda, & Talić, 2017)

Los doce principios en los que se basa la química verde han sido desarrollados en 1998, por Paul Anastas y John Warner de la EPA quienes explicaron su significado en la práctica, a continuación, se describen brevemente cada uno de los principios.

- **Prevención:** Es mejor prevenir el desperdicio que tratar o limpiar los desperdicios después que se han creado, es decir la prevención de la

generación de desechos, que es más beneficioso en el ámbito ambiental y en el económico que el tratamiento de los desechos y su destrucción.

- **Economía del átomo:** Los métodos de síntesis química deberán diseñarse de manera que incorporen al máximo todos los materiales usados durante el proceso en el producto final.
- **Síntesis químicas menos peligrosas:** Los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias que tengan poca toxicidad con el ser humano y el medioambiente.
- **Proyectos químicos seguros:** Los productos químicos deberán ser diseñados para mantener la eficacia, función y mientras reducen su toxicidad.
- **Disolventes seguros y auxiliares:** Se debe evitar el uso de sustancias auxiliares como solventes, agentes de separación, etc.
- **Reducción del consumo energético:** Se debe reducir los requerimientos energéticos y serán catalogados por el impacto ambiental y económico, llevando a cabo síntesis a temperatura y presión ambiental.
- **Uso de materias primas de fuentes renovables:** La materia prima debe ser renovable y económicamente viable.
- **Evitar la derivatización innecesaria:** La derivatización innecesaria (uso de grupos de bloqueo, protección / desprotección, modificación temporal de procesos físicos / químicos) debe minimizarse o evitarse si es posible, ya que tales pasos requieren reactivos adicionales y pueden generar desechos.
- **Catálisis:** Los reactivos catalíticos deben ser tan selectivos como sea posible, y estos siempre son superiores a los reactivos estequiométricos. Para proteger el medio ambiente, el principio de la catálisis promueve el uso de catalizadores biodegradables, que implican menos uso de energía, evitan el uso de compuestos organoclorados y reducen el uso de agua o menos agua residual.
- **Generar productos biodegradables:** Los productos químicos deben diseñarse de modo que al final de su función se descompongan en productos inocuos de degradación y no persistan en el medio ambiente. El principio de crear productos químicos y productos degradables o

diseñar para la degradación exige la creación de productos químicos que, una vez terminada su actividad, deben poder convertirse en productos inocuos para el medio ambiente.

- Desarrollar metodologías analíticas para el monitoreo en tiempo real: Las metodologías analíticas deben desarrollarse aún más para permitir la supervisión y el control en el proceso en tiempo real antes de la formación de sustancias peligrosas. La química analítica tradicional implica grandes cantidades de muestra para análisis, uso abundante de solventes y energía.
- Minimizar los accidentes químicos: Se elegirán las sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el potencial de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

2.3. Materiales poliméricos biodegradables

Conforme a la norma ASTM D6400, los plásticos biodegradables son aquellos en los cuales la degradación es el resultado de la acción de macroorganismos naturales como bacterias, hongos y algas. el compostaje es un proceso administrado que controla la descomposición biológica y la transformación de materiales biodegradables que luego dará como resultado la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y humus o compost.

Un plástico biodegrada o compostables es aquel que sufre una degradación por procesos biológicos durante el compostaje para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomásas a un ritmo consistente con otros materiales compostables y no deja residuos visibles, ni tóxicos.

Los polímeros biodegradables van obteniendo mayor aceptación en aplicaciones tales como empaquetamiento de productos alimenticios, bolsa y sacos. En la actualidad, ya existen empresas que reconocen los beneficios del empaquetamiento verde y sustentable, esto se debe a que es un atractivo comercial para los consumidores que se preocupan cada vez más

la utilización de tecnologías sustentables que tienen como fin la eliminación de la dependencia de los recursos fósiles y consigo la reducción de dióxido de carbono.

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar en:

- a) Polímeros naturales: como las proteínas, lípidos, celulosa, fibras.
- b) Polímeros naturales modificados: tales como el acetato de celulosa o los polihidroxicanoatos.
- c) Polímeros sintéticos: como los poliésteres, las poliesteramidas, los poliuretanos, etc.
- d) Materiales compuestos: combinan partículas biodegradables, es decir, una mezcla entre polímeros naturales y polímeros sintéticos.

Es importante señalar que el grado de biodegradabilidad de los plásticos depende de la temperatura del medio, la humedad, la presencia o no de oxígeno y de la composición de la flora microbiana.

2.4. Nuevos materiales poliméricos

Los polímeros son moléculas orgánicas formadas por cadenas y obtenidas mediante polimerización, que es un proceso que involucra moléculas pequeñas como etileno, que se unen para crear macromoléculas (Askeland, 1998). La palabra polímero proviene del vocablo griego “poli” igual varios y “mero” que significa partes. Existe una infinidad de aplicaciones para estos materiales que incluyen: elementos estructurales, productos decorativos, empaques, espumas, adhesivos, entre miles más, es decir que la humanidad está rodeada de polímeros.

Los “nuevos polímeros” están precisamente diseñados con propiedades mejoradas para un mejor desempeño en el ámbito mecánico. Los polímeros se clasifican principalmente en tres tipos, termoplásticos que son largas cadenas de monómeros se comportan de manera plástica y dúctil también se pueden reciclar con facilidad, termoestables se componen de largas cadenas pero con enlaces cruzados formando redes

tridimensionales por ende son más resistentes pero a su vez frágiles y finalmente los elastómeros que poseen una estructura intermedia, es decir, una combinación de las dos anteriores, lo que permite deformarse elásticamente. En la figura a continuación se muestran curvas de esfuerzo para los tres tipos de polímeros. (Saxena, Schaffer, Antolovich, & Sanders, 2000)

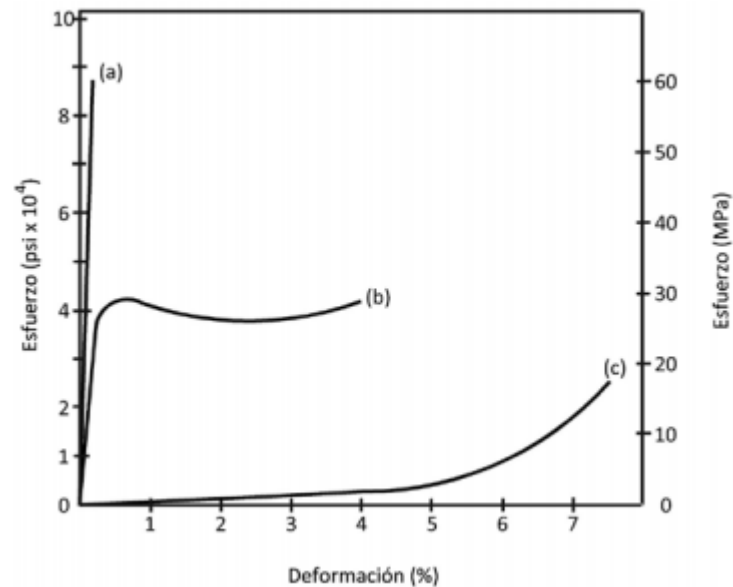


Figura 2 Curva de Esfuerzo (%) para: (a) Termoplásticos, (b) Termoestables y (c) Elastómeros.

Fuente: (Saxena, Schaffer, Antolovich, & Sanders, 2000)

Los polímeros también poseen otra clasificación, homopolímero cuando está constituido de un solo tipo de monómero, y copolímeros cuando está constituido de dos o más monómeros.

2.2. Composición de las películas

En la formación de películas se emplea diversos componentes, cada uno con un objetivo o propósito específico. Básicamente están constituidas por un agente capaz de formar una matriz estructural continua y adherente (biopolímeros naturales), un plastificante (glicerol, sorbitol), un solvente (agua, etanol, agua/etanol) y un agente regulador de pH (hidróxido de sodio),

se pueden utilizar aditivos como antioxidantes, antimicrobianos, vitaminas, etc.

2.2.1. Matriz polimérica

Los biopolímeros naturales son los componentes necesarios en la formación de una matriz polimérica con suficiente cohesión. La cohesión es la capacidad de los polímeros de formar numerosas uniones moleculares fuertes entre cadenas poliméricas. Esta cohesión depende de la estructura química del polímero, del método de elaboración, de la presencia de plastificante y aditivos.

Según la matriz polimérica utilizada se pueden agrupar las películas en 4 tipos: hidrocoloides, lípidos, componentes mixtos y material integral. Los hidrocoloides incluyen a los polisacáridos (almidón y sus derivados, celulosa, alginato, pectina) y las proteínas (gelatina, gluten de trigo, caseína, proteínas miofibrilares). Los lípidos incluyen ceras, acilgliceroles y ácidos grasos, los componentes mixtos son una combinación de hidrocoloides y lípidos, y los materiales compuestos incluyen a la harina de quinua, plátano, entre otros.

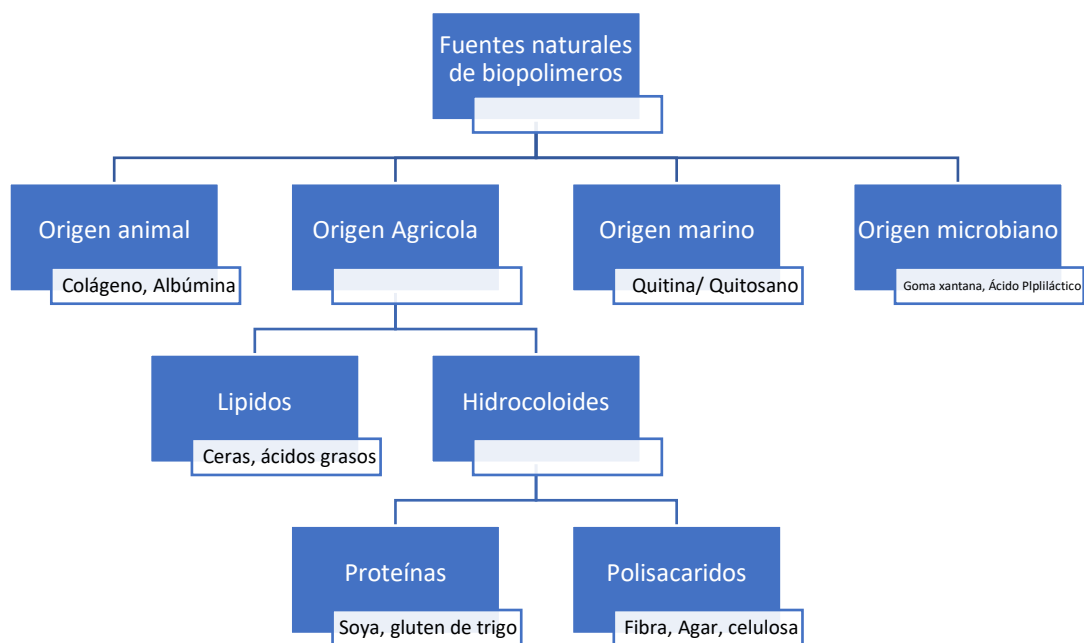


Figura 3 Fuentes de biopolímeros

2.2.2. Proteína

Las proteínas son biomoléculas poco solubles o insolubles en agua, formadas por cadenas lineales de aminoácidos que se pliegan adquiriendo

una estructura tridimensional que amplía la gama de propiedades funcionales, el más importante es la unión a nivel intermolecular. Las proteínas son distintas y dependiendo su origen pueden variar en peso molecular, arreglo espacial, cargas eléctricas, flexibilidades y estabilidad térmica. Estas diferencias son las que influye en las propiedades finales de la película a obtener.

Según su estado natural, las proteínas se pueden dividir en dos grupos, proteínas fibrosas que son de origen animal como la caseína, suero de leche, colágeno y queratina; y proteínas globulares de origen vegetal como la proteína de soya, ajonjolí y gluten de trigo.(Gontard, Duchez, Cuq, & Guilbert, 1994)

2.2.3. Plastificantes

La IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) definió un plastificante como “una sustancia o material incorporado en un material, por lo general, un plástico o elastómero, para aumentar su flexibilidad, manejabilidad o distensibilidad”. Los plastificantes son una clase importante de compuestos no volátiles de bajo peso molecular muy utilizadas en las industrias de polímeros como aditivos. El objetivo de estas sustancias es mejorar la maleabilidad y manejabilidad de los polímeros al disminuir la temperatura de transición vítrea (Tg). Las propiedades en las que se ve reflejada la acción de estas sustancias son: la tensión de deformación, dureza, densidad, viscosidad y carga electrostática que se ven reducidas de un polímero, al contrario de la flexibilidad, la resistencia a la fractura y la constante dieléctrica que se ven aumentadas.

Los plastificantes en general son líquidos, poseen un alto punto de ebullición y pesos moleculares promedio de entre 300 y 600, además de ser cadenas de carbono lineales o cíclicas. El tamaño molecular bajo de un plastificante le permite ocupar espacios intermoleculares entre las cadenas de polímero de esa manera reducir las fuerzas secundarias entre ellos. El grado de plasticidad de los polímeros depende en gran medida de la estructura química del plastificante, que incluye la composición química, el peso molecular y los grupos funcionales.


Los plastificantes para películas basadas en biopolímeros, se pueden dividir en hidrosolubles (hidrofílicos) e insolubles en agua (hidrofóbicos). La cantidad y el tipo de plastificante afectan directamente la formación de película a partir de dispersiones acuosas poliméricas. Los plastificantes hidrofílicos se disuelven en el medio acuoso cuando se añaden a dispersiones poliméricas y, si se añaden en alta concentración, pueden conducir a un aumento de la difusión de agua en el polímero.

En cambio, los plastificantes hidrofóbicos pueden cerrar los micro vacíos en la película, lo que conduce a una disminución en la absorción de agua. No obstante, los plastificantes insolubles en agua pueden provocar una separación de fases que conduce a pérdidas de flexibilidad o incluso a la formación de zonas de discontinuidad durante el secado de la película. Como consecuencia, las tasas de permeabilidad al vapor de agua aumentan. La absorción completa del plastificante insoluble por el polímero se puede lograr mediante una velocidad de agitación óptima de la dispersión polimérica con el plastificante.

El glicerol junto con el agua destilada es el plastificante más utilizado en los diferentes estudios de desarrollo de polímeros amigables con el medioambiente. El glicerol o glicerina es un alcohol con tres terminaciones de grupos hidroxilo que le permiten ser soluble en agua, en la figura se puede apreciar la molécula de glicerol. Tiene un aspecto de líquido incoloro y viscoso y lo más importante, no es toxico lo que lo hace ideal para trabajar en el ámbito alimenticio. Este plastificante ayuda a la reducción de la resistencia a la tracción cuando su contenido en peso en la mezcla está por encima del 15%. (Van soest, 1996)

Tabla 1
Propiedades del Glicerol

Propiedades	Glicerina refinada grado USP
Contenido de glicerina	99,70%
Ceniza	NA
Contenido de humedad	0,3% máx.
Cloruros	10 ppm máx.
Gravedad específica	1,2612 min.

Sulfato	20 ppm máx.
CONTINÚA 	
Metales pesados	5 ppm máx.
Residuos de Ignición	100 ppm máx.
Ácidos grasos y ésteres	100 ppm máx.
Residuos orgánicos	NA

Fuente: Posada y Cardona, 2009

2.2.4. Aditivos.

Los aditivos tienen el objetivo de ayudar a mejorar propiedades funcionales, mecánicas y nutricionales; la composición de los aditivos debe ser compatible con los componentes de la película a fin de guardar homogeneidad y no existan cambios notables en las propiedades características de la película y ser grado alimenticio.

Los aditivos que suelen ser usados comúnmente en la formación de películas son: vitaminas, saborizantes, colorantes, antimicrobianos, antioxidantes, además de su empleo como plastificantes y emulsificaciones, entre otros. Ciertos aditivos pueden emplearse para mejorar cierta propiedad química o física, en este caso es permeabilidad a vapor, por lo cual se emplea gomas naturales que cumplen los requisitos de aditivos. (Domínguez & Jiménez, 2012)

2.5. Método de formación de película.

La formación de una red macromolecular de proteína se origina por la desnaturalización y se realiza en tres etapas: 1) ruptura de los enlaces de baja energía intermoleculares, 2) orientación y ordenamiento de las cadenas poliméricas, y 3) formación de la red macromolecular tridimensional que se estabilice por la creación de nuevos enlaces. La formación de enlaces intermoleculares se rige directamente a la forma de la proteína y por otro lado de los parámetros que se utilicen durante la formación de película. (Montalvo, López Malo, & Palou, 2012)

Los métodos que se utilizan para la formación de películas a base de proteína son: el proceso húmedo utilizado a nivel de investigación por efectividad y bajo costo y el proceso seco es más rápido (Figura 4).

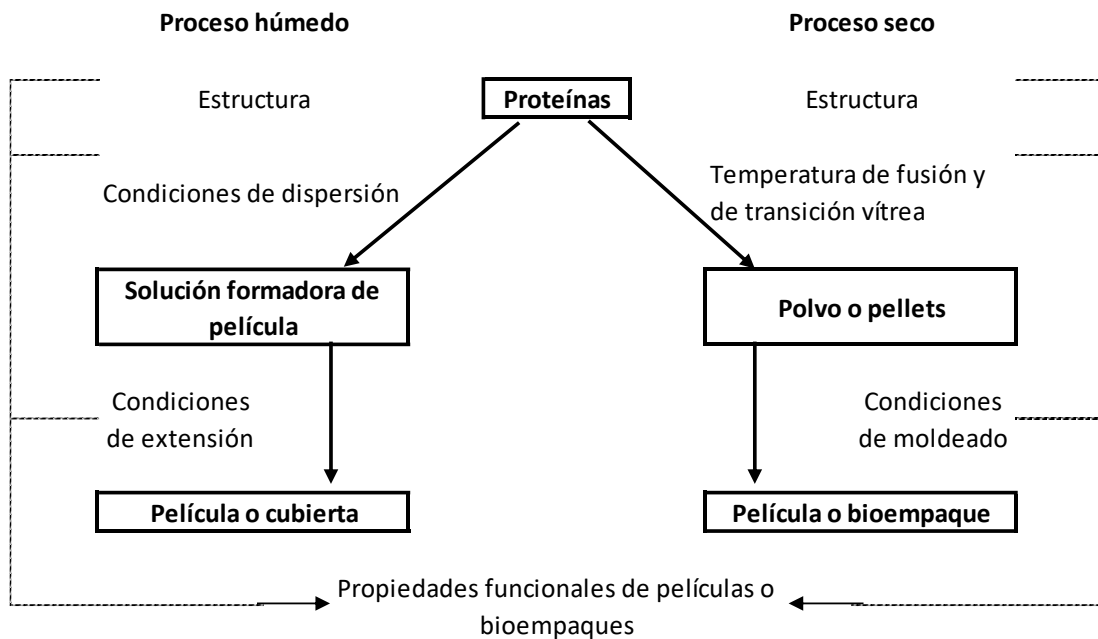


Figura 4 Esquema de procesos para la obtención de películas de proteína

El proceso húmedo o método casting, es una técnica que puede reemplazar la extrusión de película para ofrecer películas de alta calidad con propiedades ópticas, mecánicas y físicas superiores. En la colada en solución, el polímero se disuelve o dispersa en solución, se recubre sobre un sustrato de soporte, y luego el agua o el disolvente se elimina por secado para crear una capa sólida sobre el soporte. La capa de colada resultante se puede separar del sustrato de soporte para producir una película independiente. Antes o después de la extracción, la película fundida puede laminarse con otras bandas o recubrirse con otros materiales para crear productos multicapa. (Sadhukhan, 2011)

Las ventajas del proceso de fabricación de la fundición de la solución de polímero sobre los métodos tradicionales de extrusión de película incluyen:

- Procesamiento a bajas temperaturas, que es valioso para películas o aplicaciones activadas térmicamente que incorporan ingredientes activos sensibles a la temperatura.

- Capacidad para producir películas resistentes a altas temperaturas a partir de materias primas no termoplásticas pero solubles.
- Incorporación simplificada de aditivos y rellenos.
- Cambios más rápidos para plataformas con muchos números de parte que se diferencian según la fórmula.
- Fabricación en un solo paso de películas multicapa (por ejemplo, la capacidad de moldear una película libre, luego recubrir un adhesivo y un forro de liberación laminado en un lado, y recubrir una capa superior en el otro lado).
- Amplia gama de opciones de materiales con fundición de soluciones acuosas o basadas en solventes.

Las ventajas de la película resultante incluyen:

- Mayor uniformidad de espesor de película, tan ajustada como +/- 2%.
- Películas que son gel y sin agujeros.
- Excelente planitud y estabilidad dimensional.
- La orientación isotrópica (mecánica y óptica) como película no se estira durante la fabricación.
- Ausencia de lubricantes típicos del proceso de extrusión.

2.6. Tortas de semillas oleaginosas

La separación de la cantidad de aceite presente en las semillas se lleva a cabo a elevada temperatura utilizando prensas para extraer el aceite de las semillas debidamente preparadas, como resultado se produce unas tortas que poseen un contenido residual de aceite entre el 8-10% y un alto contenido proteico. Los aceites extraídos de diferentes semillas son distintos, debido a la naturaleza propia de las semillas.

Las semillas oleaginosas son semillas de las que es posible extraer aceite, en algunos casos comestibles y en otros casos de uso industrial. Las oleaginosas más sembradas son la palma elaeis, soya, maní, girasol, el maíz y el lino. Otras plantas oleaginosas son el cártamo, la colza (aceite de

canola), el olivo, el nogal, el ricino, el sésamo, la jojoba, el tung, el almendro, el arroz (aceite de salvado de arroz) y la uva. Las semillas que se usaran en este proyecto se describen a continuación.

La semilla de sésamo o ajonjolí (*Sesamum indicum* L), se cultiva en grandes extensiones en el mundo entero. Se utilizan en la preparación de confitería, dulces, panadería y es una fuente importante en la extracción de aceite comestible. Las semillas de sésamo contienen entre 40 a 50% de aceite, 20-25% de carbohidrato y 35-40% de proteína. (Sharma & Singh, 2016) Además, son ricas en calcio y contienen cantidades útiles de caroteno, hierro y vitaminas B. (Agricultura, 2006)



Figura 5 Semillas de ajonjolí y torta de ajonjolí

En el proceso de extracción de aceite de ajonjolí por la prensa mecánica, se obtiene como subproducto la torta de sésamo desengrasada, aunque no en su totalidad pues posee un 11,2% de grasa y aproximadamente 35% de proteína como se ve en la Tabla 2.

Tabla 2
Composición aproximada de la torta de ajonjolí

Composición	Torta de ajonjolí
Proteína	35%
Cenizas	8,6%
Humedad	8,1%
Grasa	11,2%
Carbohidratos	14,4%

Fuente: (Nascimento, Carvalho, Takeiti, Freitas, & Ascheri, 2012)

El sachá Inchi que tiene como nombre científico *plukenetia volubilis*, también conocido como maní inca, maní silvestre o maní de montaña. Es

una planta originaria de la selva amazónica con floración y fructificación continua, originalmente esta planta formaba parte de la dieta de los grupos nativos de la región, pero por su estructura y beneficios se cultiva ampliamente en el continente asiático, principalmente Tailandia y sus alrededores. (Rawdkuen, Murdayanti, Ketnawa, & Phongthai, 2016)

La planta de sacha inchi es pequeña, hermafrodita con pequeñas flores que producen una pequeña vaina (verde cuando es tierna y marrón cuando madura, Figura 6) que generalmente tiene 6 lóbulos. Cada lóbulo contiene una semilla de 15 a 20 mm de ancho y de 7 a 8 mm de espesor y con un peso promedio de 1 gr. Las semillas de Sacha Inchi son ricas en nutrientes y ácidos grasos esenciales, mucho más que las plantas oleaginosas ya conocidas. (Tropicos.org, 2014)



Figura 6 Semillas de Sacha Inchi y Torta de Sacha Inchi

Por otro lado, la torta de sacha inchi posee una gran cantidad de proteína (56,61%), a lo que le siguen los carbohidratos 30,72% y presenta una cantidad mínima de grasa y humedad (Tabla 3), estos valores pueden variar según el método de extracción de aceite y parámetros como velocidad de extracción y temperatura.

Tabla 3
Composición aproximada de la torta de sacha inchi

Composición	Torta de sacha inchi
Proteína	56,61%
Cenizas	5,91%
Humedad	2,62%
Grasa	4,13%
Carbohidratos	30,72%

Fuente: (Rawdkuen et al., 2016)

La soya que lleva como nombre científico *glycine max*, es una planta alimenticia que produce una semilla como el girasol u otras oleaginosas; es originaria del este de Asia, donde ha sido utilizada en la alimentación humana desde hace más de 4000 años. Su potencial como un producto de calidad nutricional se conservó como un secreto de los orientales hasta el siglo XX. La semilla de soya posee un contenido de 38% de proteína y un 18% de aceite. (The British Dietetic Association, 2003)



Figura 7 Semillas de Soya y Torta de Soya

2.7. Gomas naturales

Las gomas naturales son gomas provenientes de plantas, químicamente son polímeros hidrofílicos de carbohidratos de alto gran peso molecular. Generalmente son solubles en agua y se dispersan en la misma debido a que absorben agua y se hinchan para obtener una solución viscosa. Las gomas son insolubles en aceites o disolventes orgánicos como hidrocarburos, éter o alcoholes. Al hidrolizarse producen arabinosa, galactosa, manosa y ácido glucurónico. (Goswami & Naik, 2014)

Las gomas son producidas por miembros de un gran número de familias de especies, pero la explotación comercial se limita a un número reducido de especies provenientes de las familias Leguminosae, Sterculiaceae y Combretaceae. Las gomas también se pueden extraer de semillas algas marinas, microorganismos, y Aloe vera o sábila (*barbadensis*),

astillas de madera de Alerce americano occidental (*Larix occidentalis*), semillas o graneros de maíz, trigo, avena, cebada, arroz y soja. En la Tabla 4 se puede apreciar la fuente y familia de las gomas más comerciales.

Tabla 4
Fuentes de Gomas Naturales

Nombre de la fuente	Familia	Producto
Astragalus gummifer	Leguminosae	Goma Tragacanto
Astragalus microcephalus Willd	Leguminosae	Goma Tragacanto
Ceratonia siliqua L.	Leguminosae	Goma de Algarrobo
Cyamopsis tetragonolobus (L.)	Leguminosae	Goma Guar
Nombre del organismo		Producto
Xanthomonas compestris		Xantana
Pseudomonas elodea		Gellan

Fuente: (Goswami & Naik, 2014)

Las gomas que se usaran en el presente proyecto se describen brevemente a continuación.

La goma guar se deriva del endospermo de la semilla de la planta leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*. La goma guar es un polisacárido compuesto por azúcares de galactosa y manosa. La parte central es una cadena lineal de residuos de manosa de 1,4 enlaces a la que los restos de galactosa se unen 1,6 a cada segunda manosa, formando ramas laterales cortas. La bifurcación lateral mayor de las moléculas de goma guar causa su mejor hidratación en agua fría, así como una mayor actividad en la fijación de hidrogeno. La goma guar es un polímero no iónico compatible con la mayoría de otros hidrocoloides vegetales como tragacanto, karaya, arábica, el agar, alginatos y también casi todos los almidones modificados químicamente y proteínas solubles en agua.(Sui, Zhang, Ye, Liu, & Yu, 2016)

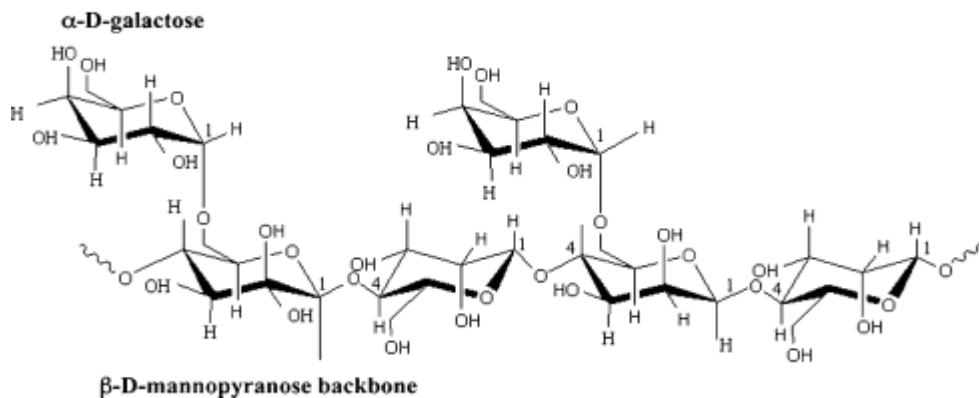


Figura 8 Estructura de la goma guar

La goma tragacanto se obtiene de pequeños arbustos del género *Astragalus*, son arbustos perennes pequeños, bajos y tupidos que tienen una raíz grande con numerosas ramas de donde se obtiene un polisacárido aniónico heterogéneo complejo de alto peso molecular. Consta de dos fracciones principales: un componente insoluble en agua llamado bassorin, que representa el 60 a 70% de la goma total, además tiene la capacidad de hincharse y formar un gel y un componente soluble en agua llamado tragacanthin. (Rao et al, 2017)

En la se puede apreciar la estructura de la goma tragacanto. Además los beneficios de la goma es no tóxica, no mutagénica, no teratogénica, no carcinogénica y se utiliza en una variedad de aplicaciones como cosmética, cuero, farmacéutica y en las industrias textiles, ya sea como emulsificante o estabilizante. (Hatami, Nejatian, Mohammadifar, & Pourmand, 2014)

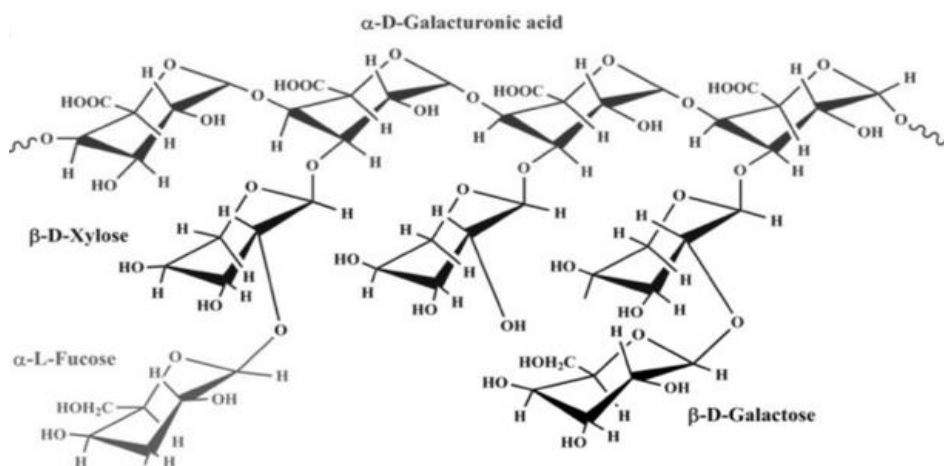


Figura 9 Estructura química de la goma tragacanto

Fuente: (Rao et al., 2017)

Goma xantana. La goma xantana es un pentasacárido que se produce por fermentación aeróbica sumergida de un cultivo puro de *Xanthomonas campestris* después de someterse a una fermentación aeróbica sumergida. La goma de xantanao cuando se dispersa en agua produce rápidamente una solución viscosa y estable, incluso a bajas concentraciones. Debido a la pseudoplasticidad de la goma, su solución en agua es un espesante, estabilizador y agente de suspensión adecuado en muchos alimentos. La goma de xantanao es el primer biopolímero natural producido a escala industrial. (Habibi & Khosravi-Darani, 2017)

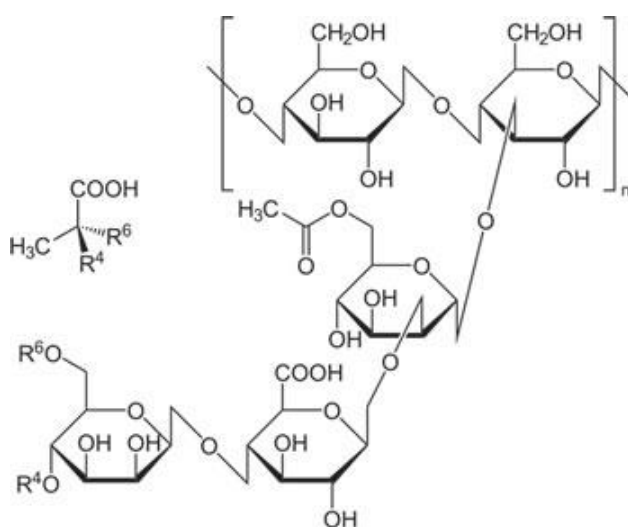


Figura 10 Estructura química de la goma xantana

Las propiedades formadoras de película de la goma comprenden un comportamiento reológico pseudo-plástico en un entorno acuoso que es susceptible de fabricación de película porque se dispersa fácilmente en agua fría o caliente con muy poco efecto sobre su viscosidad, ya sea temperatura o pH. (Nur Hazirah, Isa, & Sarbon, 2016)

2.8. Diseño experimental

En diversas ocasiones al realizar un estudio para resolver un problema o a la vez comprobar una idea, como cambios en un proceso, en materiales o probar parámetros de un equipo o máquina para obtener el mejor resultado, se emplea un diseño experimental que ayuda a obtener estos

datos de forma más efectiva, en corto tiempo y optimizando recursos.(Gutiérrez-Pulido & De la Vara-Salazar, 2008)

Algunos de los problemas más comunes donde se puede emplear el diseño y análisis de experimentos se enlistan a continuación:

- Comparación entre dos o más materiales para encontrar el que mejor cumpla los requerimientos solicitados.
- Comparación de varios instrumentos de medición a fin de verificar la exactitud y precisión con la que trabajan.
- La reducción en el tiempo de duración de un proceso, método u operación.
- Determinación de condiciones, parámetros y factores de operación de un proceso como temperatura, humedad, tiempo de reacción, catalizadores, entre otros, que reduzcan errores o actúen sobre una característica propia del producto a obtener.
- La caracterización de nuevos productos, procesos o nuevos materiales.

La forma más utilizada de obtener información en el ámbito científico es la experimentación, es decir, realizar cambios estratégicos a parámetros y condiciones de procesos. Cuando se tenga los resultados del experimento se obtienen pasos a seguir, que favorecen o no a mejorar el proceso.

El diseño experimental es la aplicación del método científico mediante pruebas o ensayos planteados adecuadamente, con la finalidad de generar conocimiento. El experimento es la parte fundamental del diseño, pues es un cambio en condiciones de operación de un proceso, que tiene como objetivo cuantificar o calificar los cambios de propiedades del resultado.(Gutiérrez-Pulido & De la Vara-Salazar, 2008)

En la Figura 11, se muestra un proceso en el cual se resumen los distintos tipos de variables o factores inmersos. Los factores controlables son variables del proceso, o su vez características de materiales y métodos experimentales que se pueden fijar a un nivel dado. Por otro lado, los factores no controlables son variables que como su nombre lo dice, no

pueden ser controladas, como factores ambientales (temperatura, humedad, ruido, partículas, etc.) y factores de operadores como salud o estado de ánimo.

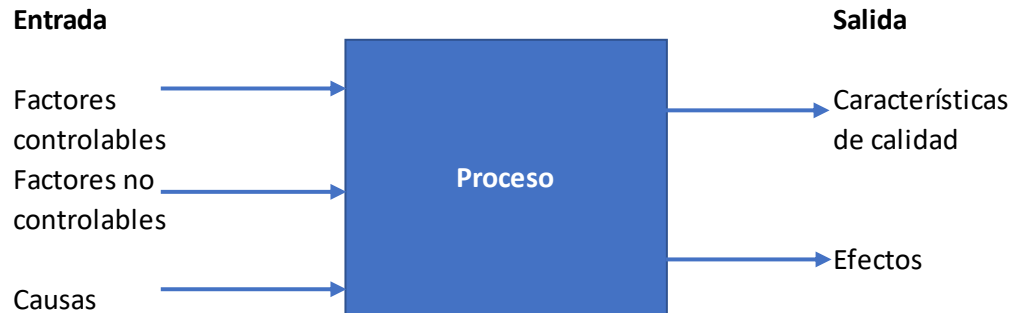


Figura 11 Variables de un proceso para el diseño experimental

Los factores estudiados son las variables que influyen o no a las variables de respuesta que se investigan en el experimento. Los niveles del diseño experimental son valores distintos que se asignan a cada factor a estudiarse. Cada combinación de los niveles de los factores estudiados se denomina tratamiento. La Tabla 5, contiene un ejemplo donde se muestran los tratamientos que se puede dar variando 2 niveles de temperatura y dos de tiempo. Al realizar la experimentación de cada tratamiento se obtiene el valor correspondiente a la variable de respuesta “Y”.

Tabla 5
Tratamientos y niveles de un diseño experimental

Tratamiento	Nivel de temperatura	Nivel de tiempo	Y
1	1	1	¿?
2	1	2	
3	2	1	
4	2	2	

2.9. Ensayos mecánicos.

Los ensayos mecánicos son empleados en la determinación de las propiedades características de un material, primordialmente porque están

sujetos a fuerzas o cargas por ende deben brindar cierta protección mecánica. Las propiedades mecánicas caracterizan la respuesta que presenta un material frente a una carga, es decir, indican la relación entre la fuerza aplicada y la deformación del material. Las propiedades mecánicas más evaluadas en películas biodegradables son: módulo de Young, fuerza de tensión antes de la rotura y el porcentaje de elongación hasta el punto de rotura. (Smith, 1998)

2.9.1. Módulo de Young.

El módulo de Young o modulo elástico es una medida que expresa la rigidez de un material, dicho de otro modo, cuánto se puede estirar un material (Figura 12). A la vez se expresa como la relación entre el esfuerzo (σ) y la deformación (ϵ) en cualquier punto dentro de la curva de la zona elástica (sección o-A). El límite de esta proporción corresponde al esfuerzo más alto que se puede aplicar sin que la deformación sea permanente. En la zona plástica se produce una deformación permanente del material. La sección final de la curva se denomina fuerza de tensión máxima o esfuerzo máximo y se atribuye la máxima fuerza que se puede aplicar al material antes de que se produzca la rotura. (Dricoll, 1998)

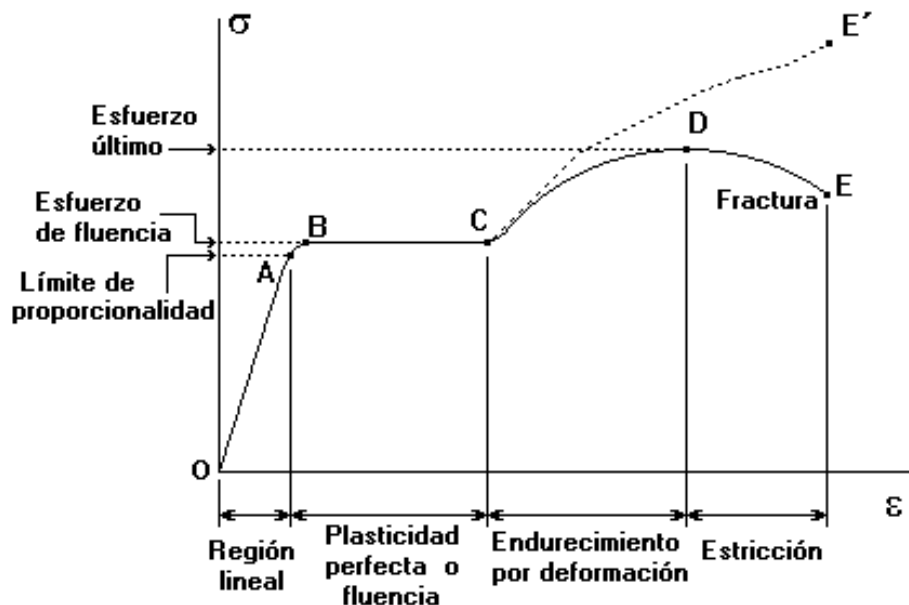


Figura 12 Curva esfuerzo- deformación

2.9.2. Fuerza de tensión.

Según la norma ASTM 882, las propiedades de tensión o tracción determinadas por este método de prueba son útiles para la identificación y caracterización de materiales con fines de control y especificación. Las propiedades de tensión pueden variar según el espesor de la muestra, el método de preparación, la velocidad de la prueba, el tipo de agarre utilizado y la forma de medir la extensión. Por ende, estos factores deben ser controlados para obtener resultados comparativos precisos. (ASTM D882, 2002)

2.9.3. Resistencia a la tracción y elongación final

La energía de tracción a la rotura es la energía total absorbida por unidad de volumen de la muestra hasta el punto de ruptura. Se utiliza para evaluar materiales que pueden estar sujetos a fatiga y esfuerzos mecánicos. La velocidad de deformación, los parámetros del espécimen y especialmente los defectos pueden ocasionar grandes variaciones en los resultados. (ASTM D882, 2002)

2.10. Técnicas de análisis térmico.

Las técnicas de análisis térmico son técnicas en las que se mide una propiedad física característica de un material o sustancia en función de la temperatura. Existe diversos métodos térmicos que se enfocan en características distintas y en distintos métodos de control de temperatura. La aplicación de estos métodos abarca desde control de calidad hasta investigación de polímeros, plásticos, metales, minerales y productos farmacéuticos. (González, 2010)

2.10.1. Calorimetría diferencial de barrido.

La calorimetría diferencial de barrido tiene como propósito registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre en una sustancia o muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan independientemente, por lo que se mide directamente la diferencia en flujo de calor y de esa manera mantener una temperatura igual en ambas

sustancias. Los datos resultantes se obtienen en forma de entradas diferenciales (dH/dt) en función de la temperatura, con esos datos se pueden obtener temperaturas y entalpías de transición o de reacción. (Sandoval & Aldana, 2005) La grafica resultante o termograma de DSC Se puede apreciar en la Figura 13.

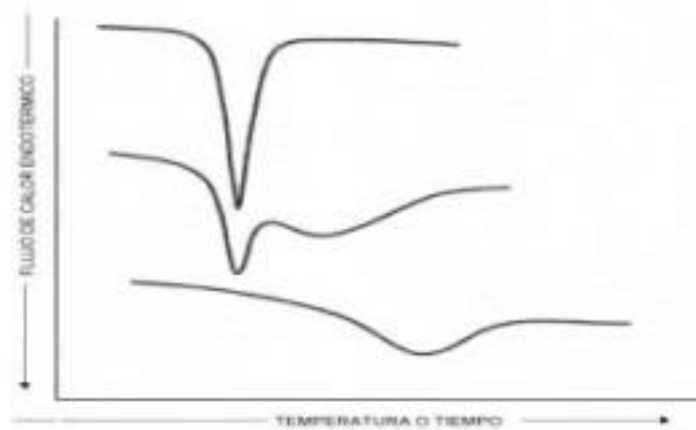


Figura 13 Termograma de DSC
Fuente: (Tester y Debon,2000)

2.10.2. Análisis termogravimétrico.

El análisis termogravimétrico se basa en los cambios de peso de manera continua en función de la temperatura o a su vez en función del tiempo. El primer caso es un experimento dinámico donde la temperatura de la muestra va aumentando de manera controlada y el segundo es un experimento isotérmico, es decir, la temperatura se mantiene constante durante todo el proceso. La representación gráfica del porcentaje de masa o simplemente la masa en función del tiempo o de la temperatura se denomina termograma o curva de descomposición térmica.

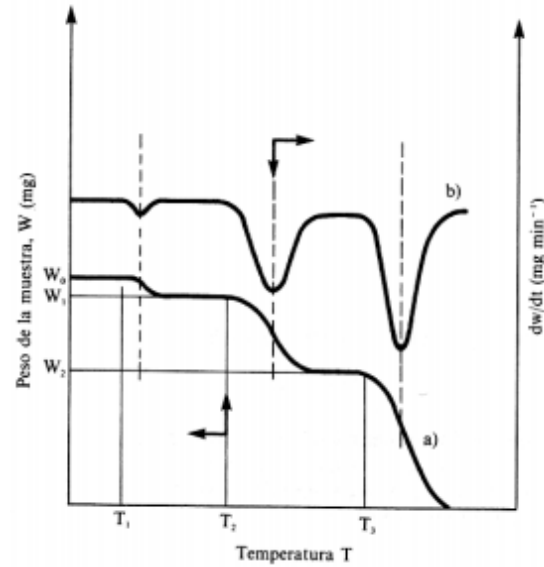


Figura 14 Termograma b) diferencial con eje izquierdo y a) convencional con eje derecho.

Fuente: (Skoog et al., 2002)

2.11. Ensayos físico-químicos.

Los ensayos físico-químicos tienen como objetivo determinar las propiedades de sustancias y materiales tales como: permeabilidad al Vapor de Agua, solubilidad, contenido de humedad, espesor y transparencia.

La permeabilidad al vapor de agua es una propiedad de barrera que determina la transmisión de vapor de agua de materiales a través de los cuales juega un papel importante el paso de vapor de agua como en películas plásticas, tableros de fibra, entre otros limitados a especímenes que no midan más de 32 mm. Este ensayo se basa en la norma ASTM E96 que aplica para materiales que se producen en masa y comúnmente usados, por lo que ya se han propuesto algunas modificaciones para estos ensayos en películas biodegradables y comestibles. (Mchugh, Avena-bustillos, & Krochta, 1993)

Las propiedades ópticas de la película también determinan la aceptabilidad del producto final por lo que la determinación de la transparencia y color es importante en la caracterización de las películas,

además estas varían según la composición química y estructura del polímero utilizado.(García, 2009)

2.12. Características estructurales.

La técnica de FT-IR (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier, es la técnica vibratoria más manejada en el estudio de estructuras y productos naturales. Estudia la interacción entre la radiación de un haz de luz infrarroja y la materia, esto se debe a que todas las moléculas están formadas por átomos unidos por enlaces químicos. La radiación de infrarrojo posee una frecuencia que oscila entre 20 y 14500 cm^{-1} . (Agilent Technologies, 2011)

La técnica de FTIR permite la medición simultanea de todas las frecuencias de infrarrojo, utilizando un dispositivo óptico llamado interferómetro. El interferómetro produce una señal única que tiene todas las frecuencias infrarrojas inmersas, resultando unas mediciones extremadamente rápidas. Un espectrómetro FTIR común consiste en consiste en energía infrarroja emitida por una fuente brillante de cuerpo negro, un interferómetro, un compartimento de muestra, un detector, un amplificador, un convertidor A / D y una computadora. (Downey, 2016)

Últimamente, la espectroscopia de reflectancia total atenuada (ATR) ha sido una de las técnicas de muestreo más populares empleadas para muestras biológicas. La espectroscopía ATR utiliza el fenómeno de la reflectancia interna total, como se muestra en la Figura 15. Un haz de radiación infrarroja que entra en un cristal se someterá a una reflexión interna total cuando el ángulo de incidencia en la interfaz entre la muestra y el cristal sea mayor que el ángulo crítico. El ángulo crítico es una función de los índices de refracción de las dos superficies. El rayo penetra una fracción de una longitud de onda más allá de la superficie reflectante y cuando un material que absorbe radiación está en contacto muy cercano con la superficie reflectora, el rayo pierde energía en la longitud de onda donde el material absorbe. La radiación atenuada resultante se mide como una

función de la longitud de onda que da lugar a las características espectrales de absorción de la muestra. En un cristal ATR, se establece una onda estacionaria cerca de la superficie del cristal. La amplitud del campo eléctrico disminuye exponencialmente con la distancia desde la superficie del ATR.(Mehrotra, 2000)

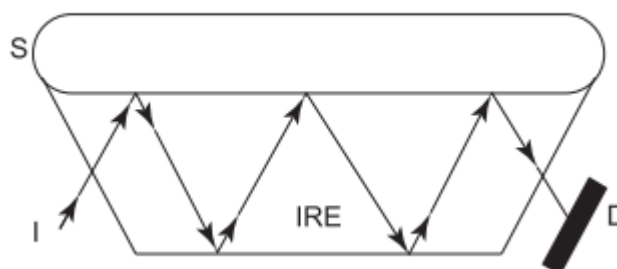


Figura 15 Accesorio horizontal de cristal ATR. S, muestra; D, detector; I, IR; IRE, elemento interno de reflexión.

2.13. Estado del arte

Los estudios desarrollados en el Ecuador no están relacionados con el presente tema propuesto, principalmente están enfocados a la utilización de harina de plátano tanto comercial como de plátano de rechazo.

No obstante, existen estudios realizados en otros países que se describen a continuación.

“Películas de caseína reforzada con fibra de celulosa regenerada: efecto del plastificante y las fibras en las propiedades de la película”, menciona la utilización de fibras de celulosa como reforzamiento de las películas hechas de caseína pueden dar una cualidad de compuesto de bajo costo, esta película está fabricada por una solución de proteína de caseína en presencia de glicerol y reforzado con fibras de celulosa (Cho, Skrifvars, Hemanathan, Mhimaissenan, & Adekunle, 2014).

“Geles mixtos de goma de proteína de tragacanto mezclados: Efecto de la secuencia de tratamiento térmico”, el objetivo de este estudio es investigar la función de una secuencia de tratamiento térmico de mezclas de

biopolímeros como un parámetro de formulación sobre la gelificación inducida por ácido de sistemas tri-poliméricos compuestos de caseinato de sodio, concentrado de proteína de leche y goma tragacanto (Hatami, Nejatian, & Pourmand, 2014).

“Efecto de la goma de xantano en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de películas de gelatina-carboximetil celulosa”, este estudio buscó desarrollar películas comestibles compuestas de tres polímeros diferentes para inducir reacciones de reticulación que mejoran la calidad de las películas hechas de dos tipos de polímeros. Se prepararon láminas de goma de gelatina-carboximetilcelulosa (CMC) -xantana por moldeo para estudiar los efectos de la adición de diferentes concentraciones de goma de xantana a gelatina-CMC película (Hazirah, Isa, & Sarbon, 2016).

“Efecto de la interacción sinérgica de la goma de xantano y la algarroba en las características de la película comestible biodegradable”, El presente estudio tuvo como objetivo utilizar diferentes combinaciones de xantano (XG) y goma de algarroba (LBG) en la preparación de película comestible biodegradable, beneficiándose de sus interacciones sinérgicas por primera vez. Se encontró que las concentraciones de LBG, XG y glicerol de la muestra de película optimizada eran del 89,6%, 10,4% y 20%, respectivamente (Kurt, Toker, & Tornuk, 2017).

“Película compuesta desarrollada a partir de las mezclas de aislado de proteína de sésamo y resina de goma colofonia y sus propiedades”, el estudio trata de las películas compuestas de proteína de sésamo y goma de colofonia fue preparada en diferentes proporciones por el método de colada, y se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas, térmicas, ópticas y morfológicas (Sharma & Singh, 2016).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los materiales, reactivos, equipos y procesos que se utilizarán en el desarrollo del presente trabajo, para el procesamiento de la materia prima. A continuación, se enumeran las actividades desde el acondicionamiento de materia prima hasta obtener las películas para su posterior evaluación en cada uno de los ensayos para análisis.

3.1. Equipos, materiales y reactivos.

3.1.1. Equipos

- Balanza analítica digital Santorious.
- Mufla ESCO Isotherm Forced Convection.
- DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido) Mettler Toledo DSC 1 STAR System.
- Espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier FT-IR ATR PerkinElmer, modelo Frontier.
- Analizador termogravimétrico PerkinElmer, modelo Pyris 1 TGA.
- Agitador magnético Boeco, modelo MSH 420.
- Centrifuga Boeco C-28.
- Estufa al vacío BINDER.
- PH metro Boeco, modelo BT 675.
- Analizador de humedad Mettler Toledo, modelo HB43S halógeno.
- Espectrofotómetro UV-visible Boeco, modelo S-220.

3.1.2. Materiales

- Vasos de precipitación 100 ml, 150ml, 250 ml, 500 ml.
- Pipetas graduadas de 1ml, 5ml y 10ml.
- Probeta de 10ml,100ml.

- Papel filtro.
- Balones aforados de 100ml y 500ml.
- Tubos de centrifuga de 50ml.
- Embudos de vidrio.
- Soporte universal.
- Equipo soxhlet.
- Termómetros -10 a 110°C.

3.1.3. Reactivos

- Hexano
- Hidróxido de sodio.
- Ácido clorhídrico.
- Glicerina.
- Gomas naturales de guar, tragacanto y xantana.
- Agua destilada.
- Etanol.

3.2. Obtención de la materia prima.

La materia prima se obtiene como subproducto de la extracción de aceite de la empresa ISABRU Botanik, que se dedica a la fabricación de aceites, esencias, cremas, jabones, bálsamos y gel, para uso cosmético, comestible y terapéutico.

3.3. Acondicionamiento de las tortas.

Las tortas obtenidas de la extracción de aceite de cada una de las semillas oleaginosas se trituran en un molino de café (Hamilton Beach) con el propósito de reducir el tamaño de las partículas y facilitar los procesos posteriores. Luego se tamiza en un sistema de tamices para tener una muestra con tamaño de partículas homogénea de mallado 40 como se describe en la metodología de (Saremnezhad, et al 2011). Se coloca en una

estufa de convección para eliminar cualquier cantidad de agua que pueda estar presente en las tortas.

3.4. Desengrasado de las tortas.

El desengrasado de las tortas se lleva a cabo en un equipo Soxhlet que consta de una manta de calentamiento, un balón de 250ml, un extractor Soxhlet, un refrigerante DIMROTH y mangueras de hule para la refrigeración con agua, como se aprecia en la Figura 16. Como solvente se utiliza hexano, además dedales de celulosa donde se colocan las muestras de tortas entre 20 - 25 g, el proceso se lleva a cabo durante 4 horas (Deak & Johnson, 2007).

Las tortas desengrasadas (TD) se secaron al ambiente toda la noche para la eliminación total de hexano contenido en las muestras. Posteriormente las TD, se colocan en vasos de precipitación, se secaron en una estufa de convección forzada a 40° C por 2 horas.



Figura 16 Equipo de desengrasado.

Por bibliografía se decide trabajar con un tamaño de partícula de mallado número 80 (0.177mm), para lo cual se realiza el tamizado con un

tamiz (Figura 17), marca SOILTEST, Inc.(Bodoira et al, 2017) Después del tamizado, las TD se colocan en bolsas Ziploc y se almacenan a 4°C hasta su posterior uso.



Figura 17 Tamiz mallado 80

3.5. Extracción de la proteína.

La proteína presente en las tortas de ajonjolí, sachá inchi y soya se obtuvieron mediante el método de extracción alcalina, donde se pretende solubilizar la proteína mediante el incremento de pH de la mezcla de las tortas en agua. (L'Hocine, Boye, & Arcand, 2006)

Según Nemet, Šošo, & Lazić, 2010; Onsaard, 2012; Russin, Arcand, & Boye, 2007, las tortas desengrasadas se mezclan con agua destilada a una relación de 1:10 para ajonjolí, 1:10 para sachá inchi y 1:15 para soya (p/v).

El pH de la solución de torta desengrasada se ajusta a 11, 12 y 9 para ajonjolí, sachá inchi y soya respectivamente, usando una solución 2M de NaOH y agitado continuamente mediante un agitador magnético con placa calefactora durante una hora y posteriormente se centrifuga a 4000 rpm por 25 min. (Mercado, Elías, & Pascual, 2015)(Sharma & Singh, 2016b)(Russin et al., 2007)

El sobrenadante se filtra y el precipitado se guarda para la realizar la prueba de contenido de proteína residual que no pudo ser solubilizado y por lo tanto extraído, el filtrado se ajusta a un pH de 4,5 para todas las tortas con

una solución 1M de HCl, lo que ayuda a la precipitación isoelectrica de la proteína. La suspensión se centrifuga a 3000 rpm durante 20 minutos, el sobrenadante se descarta y el precipitado se coloca en neutraliza a pH 7 usando 1M de NaOH, y se dejó reposar durante toda la noche a 4°C. Posteriormente se elimina solución de pH 7, se realiza lavados de la proteína con agua destilada y se seca al vacío para la eliminación total del agua en la proteína. Después de todo este proceso se almacena a 4°C hasta su posterior uso. (Russin et al., 2007)

3.6. Diseño experimental

Con el objetivo de evaluar la influencia e interacción que posee cada proteína con los tres tipos de gomas en la formación de películas biodegradables, se optó por el diseño experimental multifactorial de 3 factores con niveles de estudio distintos (Tabla 6). Se mantiene constante la temperatura, porcentaje de plastificante de 10% en base a la cantidad de proteína (9 g).

Tabla 6
Factores y niveles de estudio

Factores	Niveles de estudio
A: Tipo de proteína	Proteína de ajonjolí
	Proteína de sachá inchi
	Proteína de soya
B: Tipo de goma	Goma guar
	Goma tragacanto
	Goma xantana
C: Cantidad de goma	0,05 g
	0,08 g

En la Tabla 7 se aprecia el diseño empleado en el trabajo de investigación. Se realiza adicional un experimento de control que no posea

cantidad alguna de goma el cual sirve de base o referencia para comparar las propiedades de las películas biodegradables con gomas naturales.

Tabla 7
Diseño experimental

Tratamientos	Cod.	Tortas residuales	Gomas Naturales	g. de Gomas	Permeabilidad al vapor de agua
1	AG	Ajonjolí		0	
2	AG005	Ajonjolí	Guar	0,05	
3	AG008	Ajonjolí	Guar	0,08	
4	AT005	Ajonjolí	Tragacanto	0,05	
5	AT008	Ajonjolí	Tragacanto	0,08	
6	AX005	Ajonjolí	Xantana	0,05	
7	AX008	Ajonjolí	Xantana	0,08	
8	SIG	Sacha Inchi			
9	IG005	Sacha Inchi	Guar	0,05	
10	IG008	Sacha Inchi	Guar	0,08	
11	IT005	Sacha Inchi	Tragacanto	0,05	
12	IT008	Sacha Inchi	Tragacanto	0,08	
13	IX005	Sacha Inchi	Xantana	0,05	
14	IX008	Sacha Inchi	Xantana	0,08	
15	SG	Soya			
16	SG005	Soya	Guar	0,05	
17	SG008	Soya	Guar	0,08	
18	ST005	Soya	Tragacanto	0,05	
19	ST008	Soya	Tragacanto	0,08	
20	SX005	Soya	Xantana	0,05	
21	SX008	Soya	Xantana	0,08	

El software Infostat versión para estudiante 2017e, se utilizó para realizar pruebas y análisis estadístico. Las diferencias significativas de la propiedad más influyente de las películas se determinaron mediante el test Tuckey.

3.7. Preparación de las películas.

La solución formadora de película se prepara mediante la disolución de las proteínas en agua destilada. Se elige trabajar con un 9% de proteína en

relación a 100 ml de solución formadora. La cantidad de glicerol como plastificante es de 10% con respecto a la cantidad de proteína. El pH se eligió 12 para ajonjolí, sachá Inchi y 10 para la soya. La solución se calentó hasta 90°C durante 30 minutos, se filtró, se desgasificó al vacío durante 30 minutos. Se dejó a secar a temperatura ambiente, posterior se colocó en la estufa de convección forzada a 35°C por 8 horas. (Sharma & Singh, 2016a)

Las películas se mantuvieron en una atmósfera de 50% de humedad relativa y 25°C durante 48 horas antes de realizar las pruebas según lo establece la norma ASTM E96. (ASTM D96, 2002)

3.8. Pruebas fisicoquímicas

3.8.1. Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA).

Para determinar la permeabilidad al vapor de agua de las películas, se utilizó el método gravimétrico descrito por la norma ASTM E96 (ASTM D96, 2002), con algunas modificaciones por McHugh (McHugh et al., 1993), para esta medida se utilizaron las películas previamente formadas.

Se cortaron discos de 40 mm de diámetro y colocados en capsulas de vidrio de 38 mm de diámetro, que contenían 10 ml de agua destilada en su interior para mantener una humedad relativa de 100%. Las capsulas se colocaron en un desecador a 25°C y 0% de humedad relativa utilizando sílica gel con indicador de humedad. El transporte de vapor de agua se determinó mediante la pérdida de peso de las capsulas durante 3 h, donde se registraron 6 mediciones a partir del estado de equilibrio (alrededor de 1 h).

En la determinación de la permeabilidad al vapor de agua se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$WVP = \frac{WVTR \times Z}{S \times (HR_2 - HR_1)} \quad (1)$$

Donde:

WVP: permeabilidad al vapor de agua ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$)

WVTR: pendiente de la curva (g/h) sobre el área expuesta de la película(g/s*m²).

S: presión de vapor de agua a la temperatura de ensayo (MPa)

T: temperatura de ensayo (25°C)

HR₂: humedad relativa de la cámara (0%)

HR₁: humedad relativa en el interior de la celda (100%)

Z: espesor (m)

3.8.2. Solubilidad.

Debido a que las películas son 100% solubles después de 24 h, y para fines de estudio y comparación entre las diferentes películas se empleó un método de 5 minutos desarrollado por Wu, Zhong, Li y Shoemaker (Wu, Zhong, Shoemaker, & Xia, 2013).

Se prepararon muestras de películas de 2 x 2 cm², se secaron a 50°C durante 30 minutos, se midió el peso de las mismas (P_i) y se bañaron en 5ml de agua destilada oscilante de 25°C durante 5min a 50 rpm y las películas se separaron cuidadosamente a manera de que no pierdan su forma. Las películas separadas se secaron en un horno de secado al vacío a 100°C hasta obtener un peso constante (P_f).

La solubilidad en agua se calculó con la siguiente ecuación:

$$SA(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

3.8.3. Contenido de humedad (%).

El análisis de contenido de humedad se realizó mediante el Analizador de humedad HB43-S METTLER TOLEDO, que trabaja según el principio termogravimétrico, es decir, el contenido de humedad se basa en la pérdida de peso de una muestra desechada por calentamiento. El equipo para analizar el contenido de humedad viene con métodos precargados para ciertas sustancias, lo que facilita la medición, a su vez se puede crear un nuevo método acorde a las exigencias de las sustancias sometidas al análisis.

Para este caso en particular se estableció una temperatura final de 105 °C y un cuadrado de 3 centímetros cuadrados esperando que este dentro de

los parámetros de peso del equipo, es decir, de 3 a 5 gramos. La muestra es pesada al inicio de la medición por el equipo que posteriormente se calienta con la unidad de calentamiento halógena del equipo, durante este paso el equipo calcula continuamente el peso de la muestra, finalmente la humedad se evapora y se visualiza como resultado el contenido de humedad.(METTLER TOLEDO, 2014)

3.8.4. Espesor.

La determinación del espesor se realizó aleatoriamente en 6 posiciones mediante un calibrador digital marca PITTSBURGH®. Posteriormente se calculó el espesor promedio.

3.8.5. Transparencia.

La transparencia de la película se midió usando un espectrofotómetro UV-visible marca Boeco modelo S-220. Las películas pre acondicionadas se cortaron en forma rectangular (2 mm × 7 mm), y luego se unieron a la superficie de una cubeta. Una cubeta vacía se usó como referencia.

La transparencia de las películas se midió a 600 nm y se calculó por el método seguido por Han y Floros (Han & Floros, 1997):

$$Transparencia = \frac{\log A_{600}}{x}$$

Donde A_{600} es absorbancia a 600 nm, y x es el espesor de la película (mm).(Sharma & Singh, 2016b)

3.9. Ensayos mecánicos.

3.9.1. Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.

Los ensayos de resistencia a la tracción de las películas se realizaron en base a la norma ASTM D882 en una máquina de ensayos universales MTS (Figura 18). Las películas se cortaron inicialmente en tiras (100 mm × 10 mm) antes de la prueba, se marca un espacio de 50 mm como separación inicial de agarre y 140 mm/s la velocidad de la cruceta.(Sui et al., 2016) Las mediciones se realizaron por triplicado y se tomó el valor medio.



Figura 18 Máquina de ensayos universales

3.10. Técnicas de análisis térmico.

3.10.1. Calorimetría diferencial de barrido.

El análisis térmico se realiza mediante el uso de un calorímetro de barrido diferencial marca METTLER TOLEDO STAR System (Figura 19). Antes de realizar la medición se crea un método dinámico de análisis, se emplea una velocidad de calentamiento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ de 0 a 300°C , en una atmosfera de nitrógeno. La muestra de película se corta en pequeños trozos y se coloca un peso de entre 8 a 9 mg en capsulas de aluminio de $40\mu\text{L}$. Se utilizó una capsula vacía de referencia. (Sharma & Singh, 2016b)



Figura 19 Equipo DSC METTLER TOLEDO

3.10.2. Análisis termogravimétrico.

Para realizar este análisis se utiliza un equipo de Análisis Termogravimétrico PerkinElmer modelo Pyris 1 TGA (Figura 20). Se crea un método de evaluación según la norma ASTM E1131, donde establece una velocidad de flujo de 50mL/min, tiempo de purga 2 minutos, una temperatura inicial de ambiente (25°C), con una permanencia de 30 segundos a 30°C y una final de 750°C que se mantiene durante 3 min, además de una velocidad de calentamiento de 10°C/min y un cambio de gas a 600°C de nitrógeno a aire. (ASTM E1131, 2014)



Figura 20 Equipo de TGA PerkinElmer

Posterior a la creación del método se coloca la muestra, con un peso de entre 4 a 5 mg, dentro de una capsula metálica para luego proceder a su respectiva colocación en el gancho que es parte de la micro balanza integrada en el equipo. Finalmente se ejecutó el ensayo.

3.11. Características estructurales.

3.11.1. Espectrómetro infrarrojo de transformada de Fourier (FT-IR).

Se empleó un espectrómetro infrarrojo de transformada de Fourier con muestreo de Reflectancia Total Atenuada (ATR-FTIR) PerkinElmer Frontier

(Figura 21) para evaluar la interacción de los componentes de las proteínas de sachá Inchi, ajonjolí y soya, con las gomas xantana, guar y tragacanto donde se analizó las estructuras compuestas de las películas. Las películas de muestra se secaron a 50°C, se molieron en polvo durante la determinación de FTIR. Los espectros FT-IR fueron registrados en transmitancia en la región de 4000-400 cm^{-1} a condiciones de la habitación donde se realizó los análisis. (Sui et al., 2016)



Figura 21 Equipo ATR - FTIR Perkin Elmer

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Acondicionamiento de las tortas.

El acondicionamiento se realizó mediante la trituración de las tortas con el fin de obtener un tamaño de partícula adecuado para la extracción de aceite residual, por lo cual se tamiza con una coladera de cocina de mallado N° 40, se descarta los fragmentos de mayor tamaño que no pudieron ser triturados en su totalidad, en la Tabla 8 se resumen el rendimiento de las tortas.

Luego se colocó en una estufa de convección con lo que se pretendió eliminar cualquier contenido de humedad, el peso se mantuvo constante todo el momento.

Tabla 8
Rendimiento de trituración de las tortas.

Torta	Rendimiento de trituración
Ajonjolí	98%
Sacha Inchi	96%
Soya	98%

4.2. Contenido de proteína de las tortas.

En la Tabla 9 se puede ver el contenido de las tortas vírgenes sin pretratamiento, el análisis de proteína se realiza mediante el método de Kjeldahl en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL) de la Universidad Técnica de Ambato, en el anexo 1 se puede verificar los datos que se presentan a continuación.

Tabla 9
Contenido de proteína

Torta	Proteína	(Nascimento et al., 2012)	(González-Linares et al, 2017)
Ajonjolí	11,8 %	35%	
Sacha Inchi	49,5 %		59,59 %
Soya	37,4 %		

Según los resultados obtenidos se puede apreciar que la Torta de Sacha Inchi y soya posee un contenido de proteína significativo a comparación del Ajonjolí. González-Linares et al., 2017, mencionan que la torta de sachá Inchi posee un contenido de proteína de 59,59%, ligeramente alto con el mostrado en el presente trabajo debido a las características propias de los cultivares de Sacha Inchi tales como condiciones climáticas y del suelo, además del método de extracción del aceite.

Por otro lado, la torta de ajonjolí posee una cantidad demasiado baja comparando con las tortas del estudio y con el estudio de Nascimento, donde la torta con la que realiza su estudio posee un 35% de proteína, esto puede ser causado a factores de cosecha y ambientales (temperatura y humedad) al realizarse el estudio en el país de Brasil.

La torta de soya tiene un porcentaje relativamente alto comparado con el ajonjolí y sachá inchi de este estudio, la semilla de soya contiene alrededor de 39% de proteína, mas no se encontró estudios que reporten este dato para su análisis.

4.3. Desengrasado de las tortas.

Este proceso se realizó un número de réplicas distinto para cada una de las tortas hasta alcanzar una cantidad considerable de torta desengrasada, debido a que cada una posee un peso y un porcentaje de aceite residual distinto uno de otro. En la Tabla 10, se puede apreciar el

número de réplicas, la cantidad obtenida y el promedio de porcentaje de aceite residual contenido.

El número de réplicas realizadas para cada una de las tortas depende del porcentaje de aceite contenido en las mismas, debido a que, si la cantidad de aceite es alta, disminuye la de muestra de torta desengrasada que se queda en los dedales de celulosa como es el caso del ajonjolí que al tener mayor cantidad de aceite aun presente en la torta fueron necesarias más repeticiones para obtener una cantidad considerable de torta desengrasada para trabajar posteriormente.

Tabla 10
Porcentaje de Aceite contenido en las tortas

Torta	Numero de repeticiones	Cantidad obtenida (g)	% de aceite
Ajonjolí	36	472,73	16,73
Sacha Inchi	20	438.19	9,88
Soya	18	416,44	8.13

En la Tabla 11 se muestra el peso promedio de 4 réplicas del tamizado realizado a las tortas desengrasadas y molidas previamente, este resultado se expresa en porcentaje. Se puede apreciar que la torta de Ajonjolí posee la mayor cantidad de partícula pequeña (80,44%), este valor puede ser debido al tamaño y a la densidad de las 3 clases de semillas oleaginosas.

Tabla 11
Porcentaje promedio del tamizado de las tortas desengrasadas

Tortas desengrasadas	Mallado 80
Ajonjolí	80,44 %
Sacha Inchi	76.46 %
Soya	74.53 %

4.4. Extracción de proteína

En la Tabla 12, se puede apreciar el rendimiento de extracción de proteína según la cantidad de proteína contenida en la torta vista en el punto 4.2. donde el mayor rendimiento se da en el ajonjolí. Según Mercado (Mercado et al., 2015), el pH 11 es el que favorece a la solubilidad de la proteína, que es un dato errado debido a que el rendimiento de extracción fue de alrededor 25% en peso que es un porcentaje demasiado bajo que no favorece a la extracción de proteína ni es viable, pero (González-Linares et al., 2017) obtuvo mayor rendimiento de extracción a un pH de 12, al replicar este método el rendimiento alcanzo el 90%.

Tabla 12
Rendimiento de extracción de proteína

Torta	Cantidad de proteína obtenida	Cantidad de proteína teórica	Rendimiento
Ajonjolí	11,6	11,8	98,30
Sacha Inchi	44.3	49,5	91.51
Soya	33,4	37,4	89,30

4.5. Formación de Películas

Las películas se obtuvieron a partir de proteínas de tortas de semillas oleaginosas de ajonjolí, sachá inchi y soya con gomas naturales como aditivo en cantidades de 0,05 g y 0,08 g, utilizando la técnica de casting o moldeo según la metodología descrita por (Ghasemlou, Khodaiyan, Oromiehie, & Yarmand, 2011).



Figura 22 Secado de la solución formadora

Anterior a la obtención de las películas, se realizaron algunas pruebas de ensayo que permitieron definir la velocidad e influencia de cantidad de gomas superior a 0,1 g.

En la Tabla 13 se muestran los resultados de las pruebas preliminares con distintas velocidades y cantidades de goma, se puede observar que a cantidades bajas de gomas no hay producción de espuma y la viscosidad se incrementa con el aumento de las gomas. A velocidad de 480 y 0,05 g de goma no se produjo espuma y al secarse se obtuvo películas homogéneas, lisas y manejables.

Tabla 13
Ensayos previos a la formación de películas

Velocidad (rpm)	Cantidad de goma (g)	Producción de espuma	Viscosidad	Apariencia de la película después del secado
270	0,05	No	Media	Quebradiza
270	0,1	No	Media alta	Superficie Irregular
270	0,2	Si	Alta	Superficie con gránulos
480	0,05	No	Media	Buena
480	0,1	Si	Media alta	Buena Aun irregular
480	0,2	Si	Alta	Quebradiza

4.6. Espesor

El espesor se midió en 6 lugares distintos al azar para cada película biodegradable, los resultados se muestran en la Tabla 14.

En el estudio de (Sharma & Singh, 2016b), el espesor se mantuvo en 0,12mm con ayuda de una prensa. En este trabajo el espesor oscila entre $0,38\pm 0,024$ mm y $0,68\pm 0,012$ mm. Esto puede deberse a la presencia en ciertos casos de los distintos tipos de gomas se aumenta ligeramente entre 4%.(de Morais Lima et al., 2017)

Tabla 14
Espesor de la Películas biodegradables.


Tratamientos	Espesor (mm)	Desviación estándar relativa
AG	$0,54\pm 0,037$	6,94%
AG005	$0,51\pm 0,030$	5,95%
AG008	$0,68\pm 0,012$	1,81%
AT005	$0,58\pm 0,014$	2,44%
AT008	$0,38\pm 0,024$	6,48%
AX005	$0,62\pm 0,015$	2,47%
AX008	$0,55\pm 0,036$	6,61%
SIG	$0,60\pm 0,033$	5,70%
IG005	$0,52\pm 0,019$	3,76%
IG008	$0,31\pm 0,017$	5,77%
IT005	$0,46\pm 0,031$	6,79%
IT008	$0,58\pm 0,021$	3,77%
IX005	$0,43\pm 0,013$	3,10%
IX008	$0,38\pm 0,017$	4,55%
SG	$0,52\pm 0,017$	3,32%
SG005	$0,56\pm 0,013$	2,48%
SG008	$0,51\pm 0,016$	3,18%
ST005	$0,46\pm 0,032$	7,14%
ST008	$0,49\pm 0,034$	7,02%
SX005	$0,48\pm 0,070$	14,70%
SX008	$0,50\pm 0,028$	5,82%

De acuerdo con los resultados del espesor, no se notó ninguna diferencia significativa con respecto a las formulaciones de las películas. El espesor de la película es una medida bastante variable, ya que depende de muchos factores, como la hidrofiliidad del polímero, la cantidad de solución formadora de película colocada en la placa pues en algunos casos parte de la solución se evaporaba, por otro lado, están los factores relacionados al secado como es la temperatura y el tiempo de secado.

4.7. Solubilidad

La propiedad de solubilidad de películas biodegradables es un factor importante pues determina la resistencia al agua y humedad de una película que debe requerir cierta insolubilidad para mejorar la integridad del producto que va a ser recubierto. Pero en algunos casos la solubilidad en agua de las películas puede ser beneficiosa antes del consumo del producto. (Nemet et al., 2010) En la Tabla 15 se resume los promedios de solubilidades de todas las películas biodegradables.

Tabla 15
Solubilidad de las películas biodegradables

Tratamientos	Solubilidad %	Desviación estándar	Desviación estándar relativa (CV)
AG	33,80%	0,0006	2,019%
AG005	13,51%	0,0012	1,684%
AG008	8,17%	0,0011	0,906%
AT005	11,43%	0,0046	5,260%
AT008	5,32%	0,0008	0,418%
AX005	8,75%	0,0005	0,429%
AX008	6,76%	0,0006	0,381%
SIG	15,98%	0,0008	1,224%
			CONTINÚA 

IG005	8,58%	0,0018	1,562%
IG008	10,60%	0,0013	1,416%
IT005	6,92%	0,0006	0,394%
IT008	5,54%	0,0010	0,561%
IX005	4,88%	0,0009	0,436%
IX008	8,71%	0,0011	0,973%
SG	24,07%	0,0007	1,747%
SG005	14,96%	0,0009	1,274%
SG008	6,06%	0,0013	0,811%
ST005	14,65%	0,0005	0,686%
ST008	8,52%	0,0005	0,429%
SX005	23,25%	0,0009	1,983%
SX008	12,68%	0,0007	0,851%

En la Figura 23 se aprecia una ligera tendencia a disminuir el porcentaje de solubilidad conforme aumenta la cantidad de gomas naturales. En la gráfica a) que corresponde a las películas de ajonjolí se puede ver que con los tres tipos de goma al aumentar la cantidad de goma la solubilidad tiende a disminuir de 33,80% que es valor de la película de control a 8,17%, 6,76% y 5,32% de las películas con 0,08g de goma Guar, Xantana y Tragacanto, respectivamente.

En la gráfica b) que corresponde a las películas de sachá inchi el valor de la solubilidad de control para estas películas es de 15,98%, se aprecia que disminuye considerablemente a 8,58%, 6,92% y 4,88% con cantidad de 0,05 g de goma guar, tragacanto y xantana; para 0,08 g de goma guar y xantana, la solubilidad aumenta a 10,60% y 8,71% con respecto a la cantidad de 0,05 g, esto puede deberse a la afinidad de las gomas a hidratarse pero para la goma de tragacanto 0,08 g disminuye a 5,54%;.

En la gráfica c) se aprecian las películas de soya donde la película de control tiene una solubilidad 24,07%, disminuye de manera lineal para las películas con 0,08 g de gomas tragacanto y guar; para la película con goma

xantana tiene un comportamiento de mayor solubilidad con respecto a las ya mencionadas.

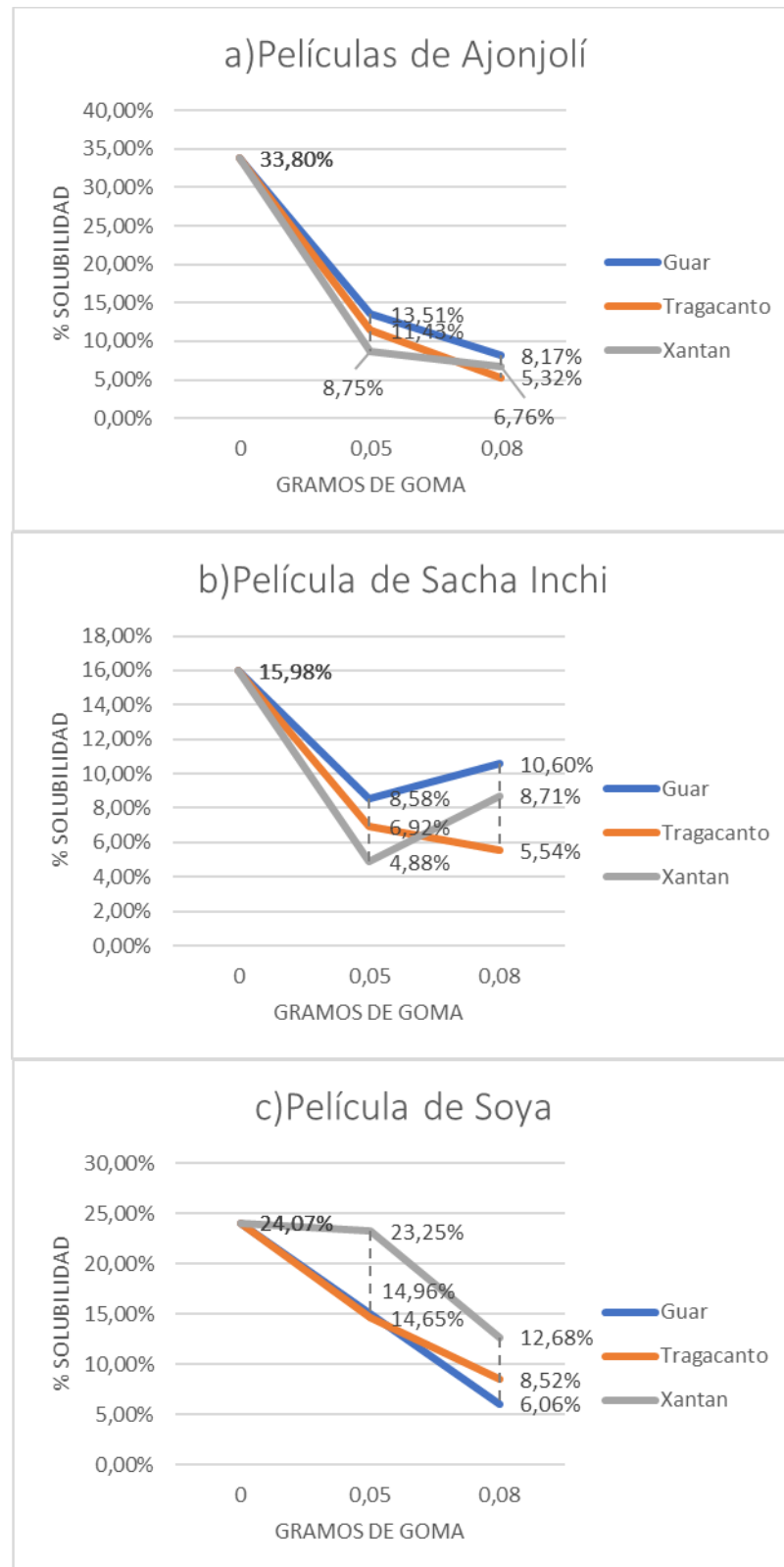


Figura 23 Tendencia de solubilidad de las Películas

4.8. Análisis de diseño experimental

Antes de comenzar a interpretar la varianza de los efectos que hayan resultado significativos en el análisis de varianza, debemos tener Presente lo siguiente: que el objetivo es minimizar la permeabilidad al vapor de agua y que las interacciones tienen prioridad con respecto a los efectos principales propios de cada factor.

El análisis de varianza para el estudio nos dice que entre repeticiones no hay diferencia significativa al ser el p-valor mayor al valor de α (0,05), pero para la interacción de interés PROTEÍNA*GOMA*CANTIDAD DE GOMA si hay significancia e interacción entre los factores, es decir, si existe influencia de las gomas en la permeabilidad.

Tabla 16
Análisis de varianza

Cuadro de Análisis de Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10,64	17	0,63	41,12	<0,0001
REPETICIONES	0,13	2	0,07	4,38	0,0198
PROTEINA	3,84	2	1,92	126,16	<0,0001
GOMA	0,46	2	0,23	15,03	<0,0001
CANTIDAD	1,66	1	1,66	109,17	<0,0001
PROTEINA*GOMA	0,42	4	0,1	6,85	0,0003
PROTEINA*CANTIDAD	1,77	2	0,89	58,21	<0,0001
PROTEINA*GOMA*CANTIDAD	2,36	4	0,59	38,71	<0,0001
Error	0,55	36	0,02		
Total	11,19	53			

Al existir interacción entre los factores planteados se realiza una prueba de Tukey con 95% de confianza, donde se presenta en orden ascendente los tratamientos (Tabla 17), siendo el primero el que posee menor permeabilidad al vapor de agua.

Tabla 17
Prueba de Tukey

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,37777						
Error: 0,0152 gl: 36						
PROTEINA	GOMA	CANTIDAD	Medias	n	E.E.	
Soya	Tragacanto	0,08	0,64	3	0,07	A
Sacha	Tragacanto	0,05	0,77	3	0,07	A B
Soya	Xantana	0,08	0,89	3	0,07	A B C
Soya	Guar	0,08	0,96	3	0,07	A B C D
Sacha	Xantana	0,08	1,08	3	0,07	B C D
Sacha	Guar	0,08	1,13	3	0,07	B C D E
Soya	Xantana	0,05	1,21	3	0,07	C D E
Sacha	Xantana	0,05	1,28	3	0,07	D E F
Sacha	Tragacanto	0,08	1,31	3	0,07	D E F
Ajonjolí	Xantana	0,08	1,47	3	0,07	E F G
Ajonjolí	Guar	0,05	1,59	3	0,07	F G H
Sacha	Guar	0,05	1,65	3	0,07	F G H I
Ajonjolí	Tragacanto	0,08	1,71	3	0,07	G H I
Soya	Guar	0,05	1,91	3	0,07	H I
Soya	Tragacanto	0,05	1,95	3	0,07	H I
Ajonjolí	Xantana	0,05	1,99	3	0,07	I
Ajonjolí	Tragacanto	0,05	2	3	0,07	I
Ajonjolí	Guar	0,08	2,01	3	0,07	I

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.9. Permeabilidad al vapor de agua

La concentración óptima de la formación de películas se estableció mediante el análisis de la permeabilidad al vapor de agua, debido que es una propiedad más crítica pues en los envases de alimento, se debe buscar la disminución de la transferencia de humedad entre la atmosfera y el alimento.(Nemet et al., 2010)

En la Figura 24, se puede apreciar que la combinación que posee menor permeabilidad al vapor de agua es la AG005 (Proteína de ajonjolí con 0,05 g de goma guar), la interacción de la goma guar con la proteína de ajonjolí permite que el arreglo intermolecular actúe de mejor manera contra el vapor de agua. Por el contrario, la goma tragacanto favorece al paso del vapor de agua. Con referente a la película de control este valor de AG005, es bajo por lo que se infiere que la goma favorece la disminución de la permeabilidad del vapor de agua.

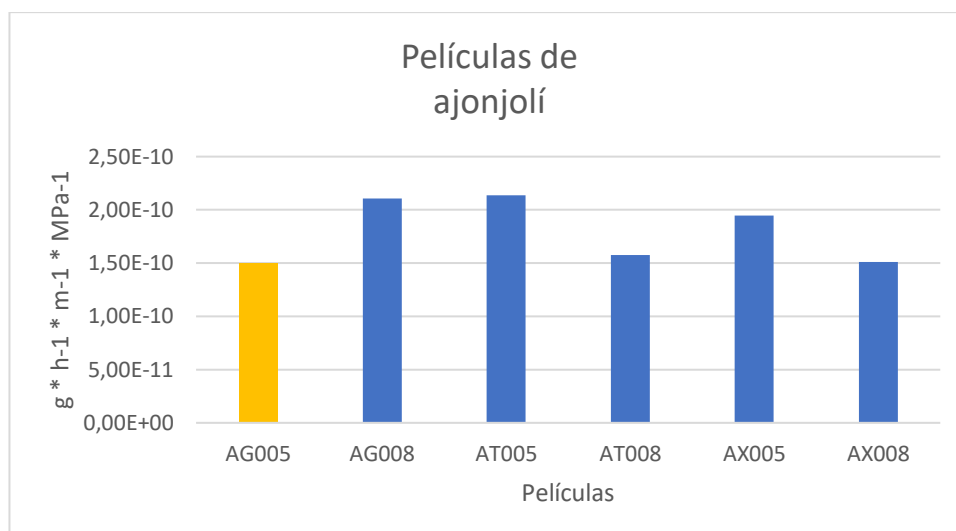


Figura 24 Permeabilidad al vapor de agua de películas de Ajonjolí

En la Figura 25, se aprecia que la película IT005 (proteína de sachá inchi con 0,05 g de goma tragacanto) posee el menor valor de permeabilidad al vapor de agua, por lo que se infiere que en este caso la goma tragacanto mejor las propiedades de barrera al interactuar con la proteína de sachá inchi.

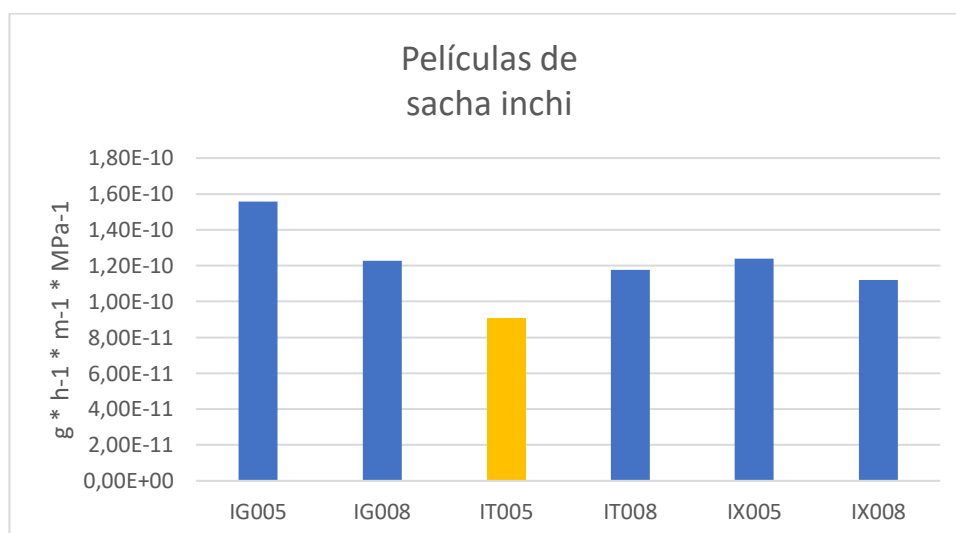


Figura 25 Permeabilidad al vapor de agua de películas de Sachá Inchi

En la Figura 26, se hace una comparación entre películas de soya, en el que sobresale la película ST008 (proteína de soya con 0,08 g de goma tragacanto) la interacción de proteína de soya con goma tragacanto al igual que con proteína de sachá inchi mejora las propiedades de barrera en este

caso a la permeabilidad de vapor de agua, pero requirió una cantidad un poco mayor a la cantidad utilizada con la proteína de sachá inchi.

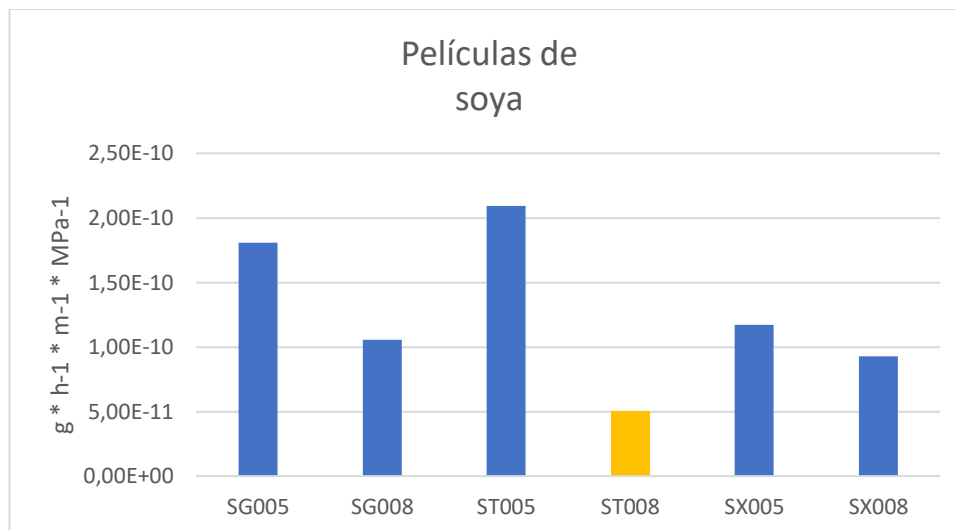


Figura 26 Permeabilidad al vapor de agua de películas de Soya

El análisis de varianza (ANEXO 3) que se realiza en función al resultado de los valores de permeabilidad al vapor de agua de los tratamientos, se puede justificar diferencia significativa en la interacción entre proteína y gomas y la cantidad de cada una en la formación de película, sin embargo se establece que la proteína de soya junto a la goma de tragacanto y 0,08 g de cantidad de goma es el mejor tratamiento, esto se debe a que con esta combinación presentan el mínimo valor de permeabilidad al vapor de agua, que a diferencia de la proteína de ajonjolí que posee unos valores altos en pH para la formación de película lo que se refleja en la permeabilidad al agua no ofrece una protección de barrera, el análisis se lo realizo a un nivel de confianza del 95% y con un $\alpha = 5\%$.

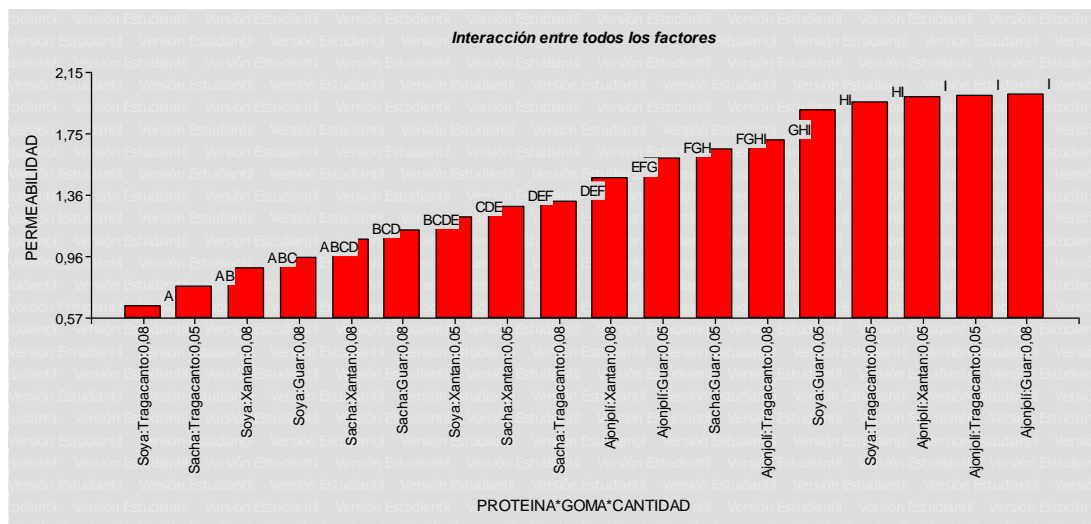


Figura 27 Gráfico de interacción para análisis estadístico

4.10. Porcentaje de humedad

El contenido de humedad presente en las películas biodegradables de control es de 16,79%, 20,80% y 11,15% para proteínas de ajonjolí, sachá inchi y soya. En la Figura 28, se establece una disminución en el contenido de humedad de las películas no se vieron afectadas en gran medida por la adición de goma de xantano lo que es un factor que correlaciona la permeabilidad al vapor de agua (de Morais Lima et al., 2017). Las películas de control que solo contienen glicerol tienen el mayor contenido de humedad debido a su naturaleza altamente higroscópica, es decir, tiene una buena capacidad de retención de agua para usar la actividad plastificante de las moléculas de agua. (Saberí et al., 2017).

En comparación con las películas de control, las películas que se añadieron las gomas en la mezcla de formación de película mostraron el contenido de humedad más bajo. Esto se debe a que difieren en peso molecular y estructura unas de otras, además de la interacción con las distintas proteínas. (Nur Hazirah et al., 2016)

Para el mejor tratamiento obtenido ST008 (proteína de soya con 0,08 g de goma tragacanto), no se observa disminución de contenido de humedad evidente con respecto a la película de control de 11,15% a 10,96%.

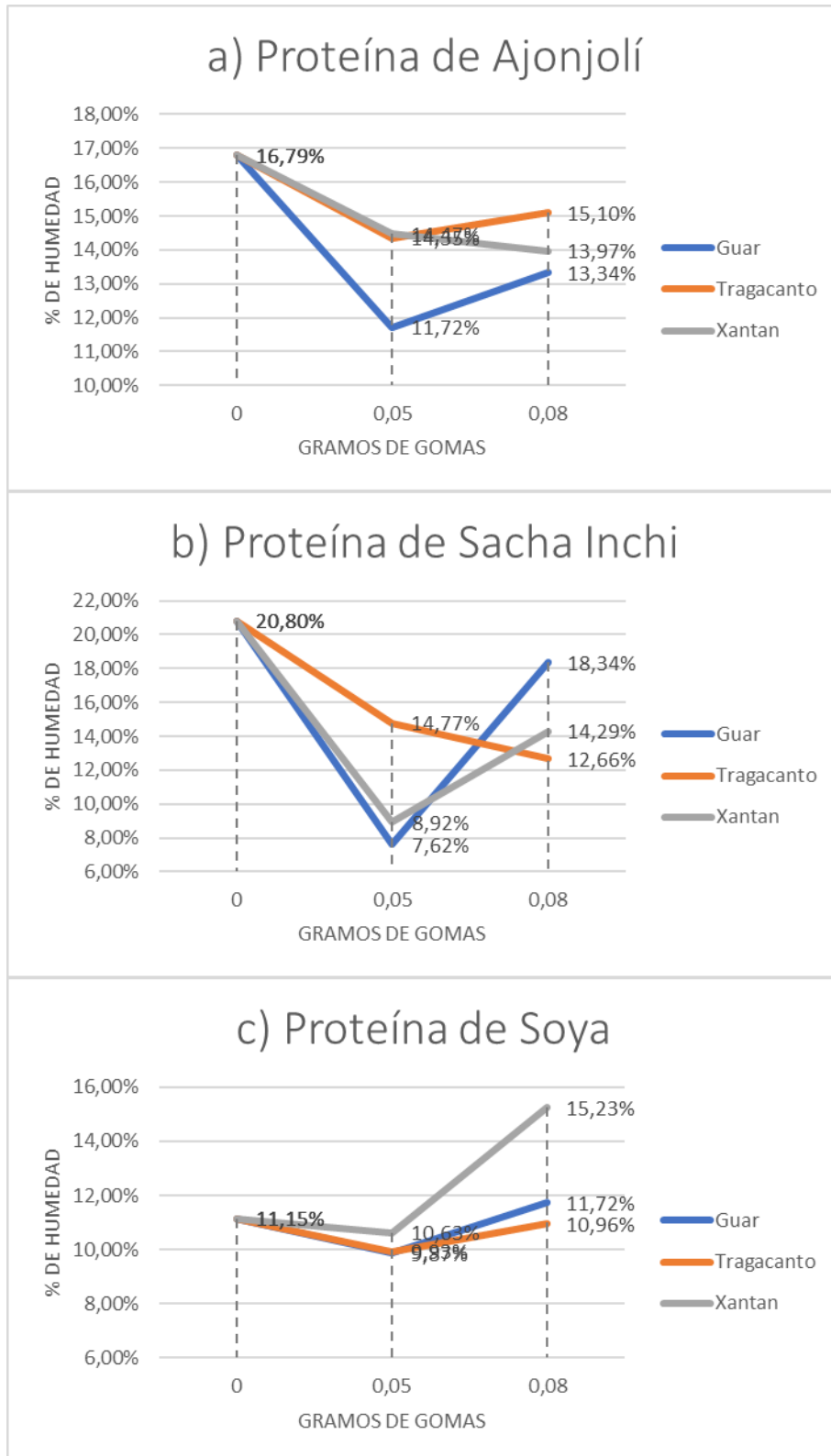


Figura 28 Contenido de humedad de las películas

4.11. Transparencia

La película biodegradable ST008 que es la mejor mezcla obtenida, es también una de las que presenta mayor transparencia siendo un 25,70%. Las demás películas biodegradables (Tabla 18) poseen baja transparencia que se puede relacionar con la cantidad de grupos amino aromáticos propios de las demás proteínas. Según Sui et al, la goma guar ayuda a la disminución de la transparencia lo que se evidencia también en este trabajo.(Sui et al., 2016)

Tabla 18
Transparencia de películas biodegradables

Tratamientos	Transparencia
AG	5,80
AG005	1,20
AG008	2,80
AT005	3,60
AT008	3,30
AX005	1,30
AX008	8,20
SIG	2,90
IG005	15,70
IG008	2,20
IT005	8,10
IT008	3,60
IX005	7,80
IX008	2,90
SG	10,20
SG005	6,10
SG008	6,20
ST005	23,60
ST008	25,70
SX005	28,90
SX008	1,40

4.12. Ensayo de resistencia a la tracción

El ensayo de tracción se desarrolló por triplicado, asimismo se realizó solo de la película que presentó mejor propiedad de barrera en este caso se evaluó la permeabilidad al vapor de agua.

En la Figura 29, se puede divisar el comportamiento de la película en función de la fuerza aplicada, esta curva se divide en 3 secciones que son: sección 1, corresponde a las deformaciones elásticas como su nombre lo dice plásticas es decir, que si se retira la carga aplicada la probeta regresaría a su forma inicial, además es la sección donde rige el módulo de elasticidad o de Young; la sección 2 es de cedencia, donde se produce una deformación brusca de la probeta manteniéndose la carga aplicada, esto se produce por debido a impurezas presentes en la probeta que obstaculizan el deslizamiento característico de la deformación plástica; sección 3 deformación plástica, donde si se retira la carga aplicada la probeta no recupera su forma original sino parcial evidencia cierta deformación.(Azevedo et al., 2017)

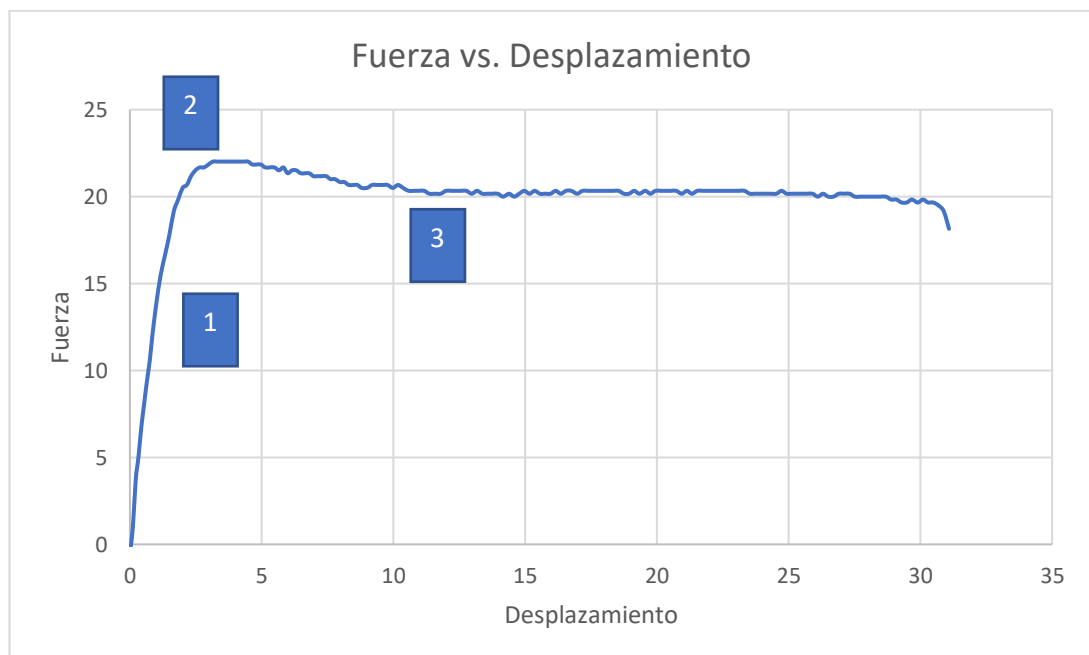


Figura 29 Grafica de resistencia a la tracción

En la Figura 30 se puede apreciar la deformación que sufre la película al alcanzar el esfuerzo máximo que puede soportar para llegar a la rotura. Los valores extraídos en este ensayo se presentan en la tabla a continuación.

Módulo de elasticidad	Esfuerzo máximo	% de elongación
11,418	7,74 MPa	50%

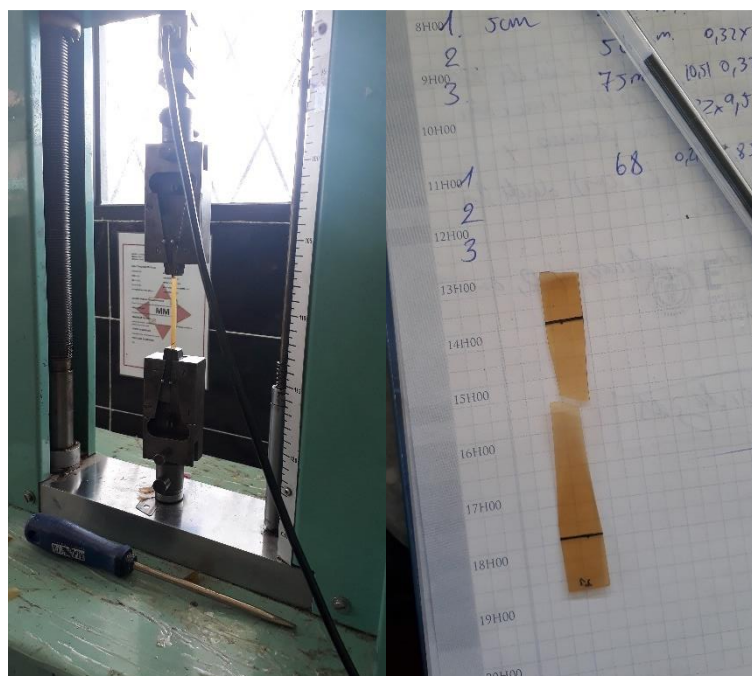


Figura 30 Ensayo de tracción

4.13. Calorimetría diferencial de barrido

Esta técnica de análisis térmico, se emplea para la hallar cambios en propiedades físicas y químicas de materiales en función de la temperatura.

La curva DSC de la película mostró una T_g de 87 °C, la temperatura de fusión fue de 206 °C y los valores de ΔH fueron de 42 mJ, para la película de control de soya se muestra una T_g de 70 °C y una temperatura de fusión de 203 °C. Haciendo una comparación entre la película de control y la película con goma, se observó que los valores de T_g y T_m aumentaron. La razón detrás del desplazamiento de la temperatura podría deberse a la red

formada en la matriz del polímero debido a las interacciones entre los componentes de las películas.(Sharma & Singh, 2016b) Si dos polímeros o polímero y plastificante o mezcla de todos estos componentes son inmiscibles, la mezcla exhibirá dos Tg correspondientes a las dos fases puras (Ghanbarzadeh y Oromiehi, 2009; Carvalho y Grosso, 2004). Se observó una sola Tg en las películas de proteína de soya que indica una buena compatibilidad de la proteína de soya con el plastificante y además con la goma que se utilizó como aditivo.(López-Castejón, Bengoechea, García-Morales, & Martínez, 2016)

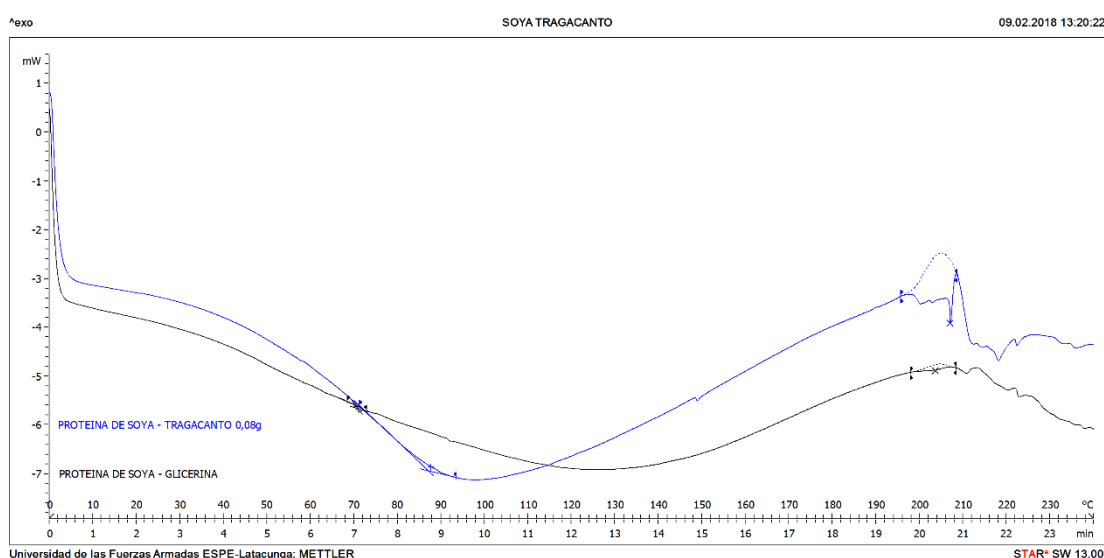


Figura 31 Termograma de DSC

4.14. Análisis termogravimétrico

En la Figura 32, se muestran curvas de comparación entre la película proteicas de soya con su película de control (sin goma natural). Como se especificó en la metodología antes de realizar todos los ensayos las películas fueron colocadas en una atmosfera de 55-60% de humedad relativa durante 48 horas. Dicho esto, se justifica la perdida inicial de todas las películas se atribuye a la perdida de humedad y deshidratación hasta 130 °C.

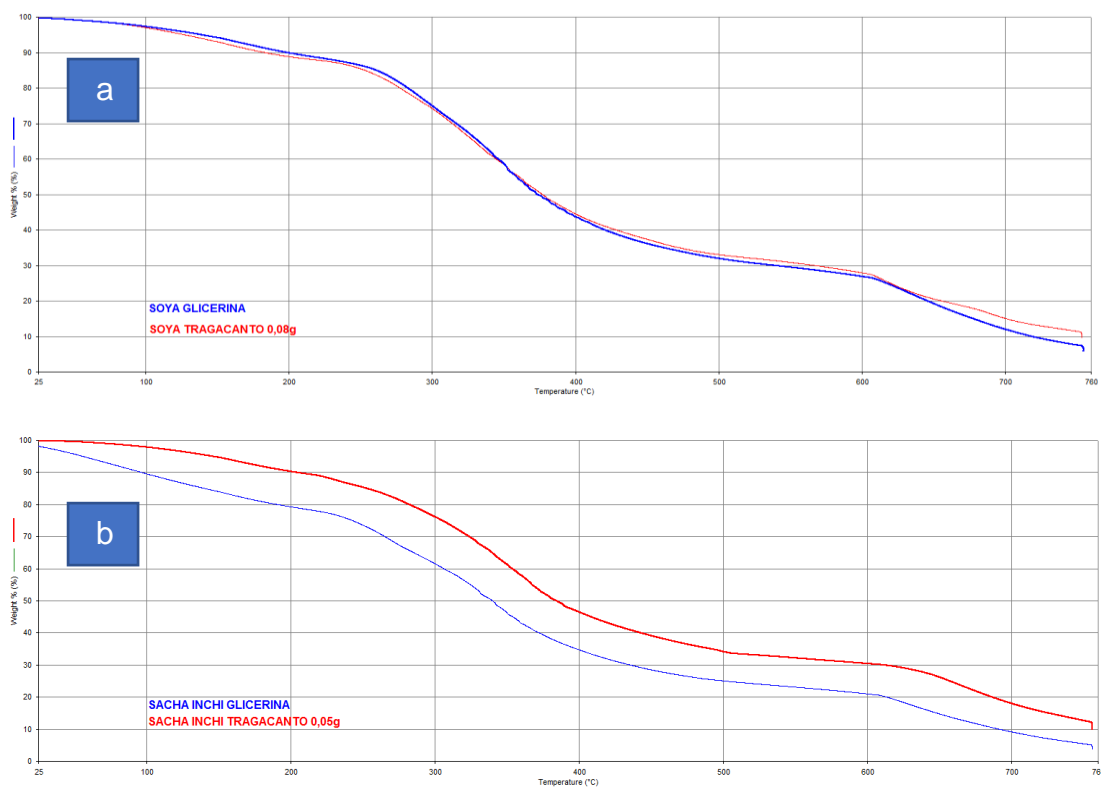


Figura 32 Termograma de películas de a) soya – tragacanto y b) sachá inchi - tragacanto

La Tabla 19 presenta una comparación del comportamiento de las películas estableciendo rangos de temperatura definidos por literatura, donde se infiere los procesos ocurridos en el ensayo para películas biodegradables.

En el primer intervalo de temperatura, se observa que las películas que poseen la goma tragacanto poseen una cantidad menor con respecto a sus películas de control, lo que coincide con el ensayo de contenido de humedad, que tiene la misma tendencia. La presencia de mayor cantidad de humedad en las películas de control se puede deber a la polaridad de la glicerina y afinidad de formar puentes de hidrógeno con el agua. (Ghasemlou et al., 2011)

En el siguiente intervalo de 220-340°C, se produce la pérdida de plastificante y gomas (de Morais Lima et al., 2017), entre las películas de soya no existe una variación significativa. La película IT005 (Proteína de sachá inchi con 0,05g de goma tragacanto) presenta una pérdida menor a su

película de control, lo que evidencia la estabilidad térmica hasta la temperatura de 340°C.

El siguiente intervalo 340-600°C, corresponde a la descomposición de las proteínas, por lo que se muestra un mayor porcentaje de peso perdido con respecto a los intervalos anteriores, en esta etapa se descomponen y fragmentan los polisacáridos y aminoácidos propios de las proteínas, una menor parte de las gomas naturales, que se debe a su origen. (Ma, Hu, Wang, & Wang, 2016)

Según la norma ASTM E1131, la masa perdida en el intervalo de 600-750°C corresponde al material combustible de los termoplásticos, por ende a la incineración de estos que se produce al realizar un cambio de gas de N₂ a aire. (ASTM E1131, 2014)

Tabla 19
Resumen del Análisis Termogravimétrico de películas óptimas

ΔT (°C)	% Peso perdido				Proceso
	IT005	ST008	SIG	SG	
25-170	7,104	7,3	16,295	8,676	Perdida de humedad y deshidratación.
220-340	17,846	26,507	21,417	26,268	Perdida de plastificante y aditivos (gomas naturales).
340-600	40,674	33,406	35,446	35,417	Descomposición de polisacáridos y aminoácidos presentes en la proteína.
610-750	17,392	15,415	14,966	18,539	Incineración de todo el material combustible.
% Residuo	10,142	9,714	3,837	6,095	Contenido de cenizas
IT005: Proteína de sachá inchi con 0,05g de goma tragacanto					
ST008: Proteína de soya con 0,08g de goma tragacanto					
SIG: Proteína de sachá inchi con glicerina					
SG: Proteína de soya con glicerina					

4.15. Análisis de FT-IR


Este análisis realizó con el fin de obtener información sobre la estructura de las películas y las interacciones entre las proteínas de ajonjolí, sachá inchi y soya y las gomas guar, tragacanto y xantana. El análisis FTIR se realizó para la materia prima, es decir, las proteínas, junto con las

películas de control y las películas que presentan menor permeabilidad al vapor de agua.

La Tabla 20 enlista las posiciones de los picos de absorción característicos primarios para comparar los picos de absorción de las películas de control y las películas compuestas. Esto se utilizó como confirmación de los cambios estructurales de la proteína extraída antes y después del procesamiento, así como para resaltar las interacciones entre las proteínas y gomas naturales. La curva de absorción infrarroja de la proteína de sachá inchi y soya contienen picos de absorción de vibración de estiramiento N-H y O-H que ocurren a 3271 y 3280 cm^{-1} , respectivamente. (Sui et al., 2016)

Mientras que las vibraciones de estiramiento C-H de los grupos CH_3 y CH_2 ocurrieron a 2932 cm^{-1} para ambas proteínas. A 1634 cm^{-1} de proteína de sachá inchi y 1635 cm^{-1} en proteína de soya, se observaron picos de absorción de la flexión de H-N-H, y vibraciones de estiramiento C=O en las bandas amida I', mientras que a 1526, 1236 para la proteína de sachá inchi y 1523 y 1236 para la proteína de soya, se distinguen los picos de flexión y absorción de NH en bandas de amida II y vibraciones de estiramiento CN en la banda de amida III. A 1072 y 1067 cm^{-1} , se produjo el pico de absorción de vibraciones del enlace glicosídico C-O-C que es parte de la estructura de la proteína. (Piermaria et al., 2011)

Tabla 20
Picos de absorción característicos de espectro FTIR

MUESTRA	Numero de onda de picos de absorción característicos (cm^{-1})								
Proteína de Sachá Inchi	3273	2932	1634	1526	1448	1393	1236		1072
Proteína de Sachá Inchi-Glicerina	3274	2930	1629	1534	1448	1396	1238	1106	1042
Proteína de Sachá Inchi-Tragacanto 0,05g	3273	2959 2933	1629	1534	1448	1396	1240	1107	1046
Proteína de Soya	3280	2932	1635	1523	1447	1394	1236		1067
CONTINÚA									

Proteína de Soya-Glicerina	3261	2964	1629	1534	1446	1397	1241	1097
Proteína de Soya-Guar 0,05g	3274	2931	1631	1536	1446	1398	1242	1101
						1317		

Al realizar la comparación de la materia prima, película de control y la película junto con la goma se observó variaciones en 2 posiciones como se aprecia en la Figura 34, el pico de absorción 2932 cm^{-1} , ocurre un aumento a 2959 cm^{-1} esto puede deberse al cambio de estructura molecular por la desnaturalización de la proteína por efecto del calentamiento. El segundo cambio se da en la variación de 1072 a 1106 cm^{-1} , que es atribuible a la disociación de las proteínas, con el cambio de estructura del enlace C-C de la estructura de anillo y del enlace glicosídico C-O.

En la Figura 34, se pueden apreciar las mismas variaciones que la Figura 33 con la diferencia que radica en el pico 3280 cm^{-1} , que indica la combinación de proteína con la glicerina, etanol o agua adquirida durante el proceso de formación de la película.

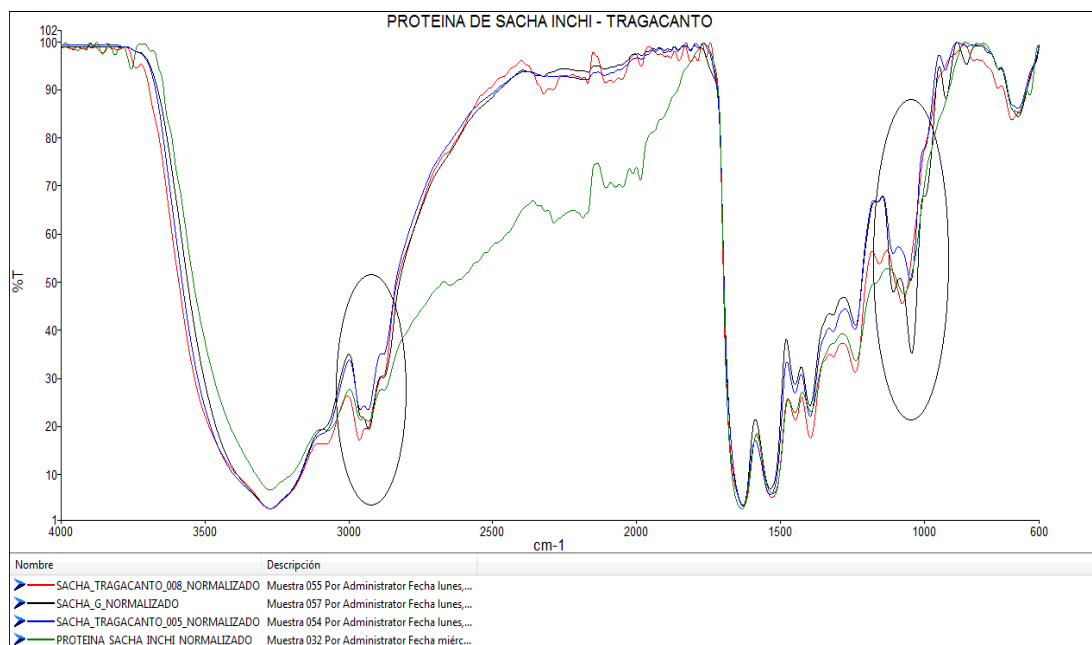


Figura 33 Espectro FTIR de las Películas de Proteína de sachá Inchi con goma tragacanto en el intervalo de $4000\text{-}600\text{ cm}^{-1}$.

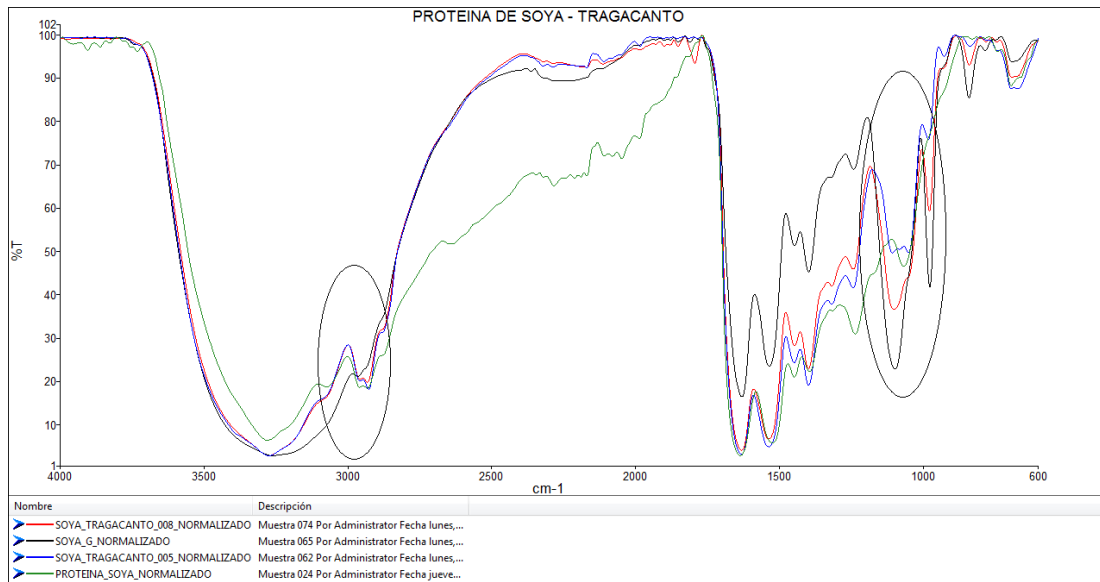


Figura 34 Espectro FTIR de las Películas de Proteína de b) soya con goma tragacanto en el intervalo de 4000-600 cm^{-1} .

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se desarrollo películas biodegradables a base de proteínas de tortas residuales de semillas oleaginosas y gomas naturales mediante el método de casting o moldeo, que resultaron maleables, sin olor, el color se asocia a la fuente de proteína, las condiciones de formación de película se escogieron de estudios realizados a partir de proteína donde se obtuvieron las mejores condiciones para la formación de películas como pH, temperatura y agitación.

La concentración de proteína de las tortas en orden descendente es sachá inchi, soya y ajonjolí con 49,5, 37,4 y 11,8%, respectivamente. Por lo que se viabiliza la elección de sachá inchi por tener un contenido casi de 50% de proteína, aunque la recuperación no se logró el mayor rendimiento, y eso se puede asociar a factores como pH y temperatura de extracción de las proteínas contenidas en esta torta. Para las tortas restantes de ajonjolí y soya se obtuvo un buen rendimiento de extracción de 98 y 89%.

El plastificante que se añadió a las películas fue de glicerina que ayuda a la elasticidad de la proteína debido a que solo la proteína forma una película transparente pero demasiado frágil. Los plastificantes alteran la flexibilidad y extensibilidad de la película, con un módulo posterior de elasticidad y disminución de la resistencia a la tracción debido a la reducción de los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de polímeros.

La adición de gomas naturales tuvo mucha influencia en la interacción de variables que se denoto en el análisis de varianza, además que favoreció la disminución de propiedades como solubilidad, contenido de humedad y

permeabilidad al vapor de agua, pues se mejoró la reticulación de la proteína y a la vez la calidad de las películas.

Las gomas al estar contenidas en la clasificación de polisacáridos, ofrecen películas con buenas propiedades mecánicas y de barrera frente a gases como CO₂ y O₂, gracias a su estructura compleja y a la formación de enlaces con la proteína.

5.2. Recomendaciones.

Se recomienda el uso de un liofilizador para el proceso de secado luego de la extracción de proteína que permita mayor homogeneidad en la mezcla y eleve el desempeño en permeabilidad de la película mejorando así su forma de aplicación.

Las películas biodegradables se desarrollaron siguiendo una metodología a escala de laboratorio a través del “moldeo”. Sin embargo, para su elaboración a escala industrial es necesario adaptar la tecnología a un proceso de extrusión y termoformado.

Se debería realizar un análisis por microscopio de barrido que ayudará a la interpretación morfológica y estructural de las películas, reconociendo espacios y estructuras que afecten a las propiedades de las películas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agilent Technologies. (2011). Nuevos desarrollos y Aplicaciones en Espectrometría FTIR. Retrieved from https://www.agilent.com/cs/library/slidepresentation/public/5_Soluciones de Agilent FTIR.pdf
- ASTM D882. (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. In *American Society for Testing and Materials* (Vol. 14, pp. 1–11).
- ASTM D96. (2002). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials 1. In *American Society for Testing and Materials* (Vol. 4, pp. 1–8).
- ASTM E1131. (2014). Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. In *American Society for Testing and Materials* (Vol. 99, p. 6). <https://doi.org/10.1520/E1131>
- Azevedo, V. M., Borges, S. V., Marconcini, J. M., Yoshida, M. I., Neto, A. R. S., Pereira, T. C., & Pereira, C. F. G. (2017). Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion. *Carbohydrate Polymers*, *157*, 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.046>
- Bodoira, R., Velez, A., Andreatta, A. E., Martínez, M., & Maestri, D. (2017). Extraction of bioactive compounds from sesame (*Sesamum indicum* L.) defatted seeds using water and ethanol under sub-critical conditions. *Food Chemistry*, *237*, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.102>
- Deak, N. A., & Johnson, L. A. (2007). Effects of extraction temperature and preservation method on functionality of soy protein. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, *84*(3), 259–268. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1035-7>
- de Morais Lima, M., Bianchini, D., Guerra Dias, A., da Rosa Zavareze, E.,

- Prentice, C., & da Silveira Moreira, A. (2017). Biodegradable films based on chitosan, xanthan gum, and fish protein hydrolysate. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(23), 1–9. <https://doi.org/10.1002/app.44899>
- Domínguez, M., & Jiménez, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos : propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2, 110–121.
- Ecuador en Cifras. (2014). *Documento Técnico Modulo de Hogares*. Quito.
- García, S. (2009). Referencias Históricas Y Evolución De Los Plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen Iberoam. Polim*, 10(101), 71–80.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., & Yarmand, M. S. (2011). Development and characterisation of a new biodegradable edible film made from kefiran, an exopolysaccharide obtained from kefir grains. *Food Chemistry*, 127(4), 1496–1502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.003>
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J., & Guilbert, S. (1994). Edible Composite Films of Wheat Gluten and Lipids - Water-Vapor Permeability and Other Physical-Properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 29(1), 39–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>
- Gonzáles, F. (2010). MÉTODOS DE ANÁLISIS TÉRMICO. *Universidad Politécnica de Madrid*, 1–32.
- González-Linares, J. I., Medina-Vivanco, M. L., Garay-Montes, R., & Mendieta-Taboada, O. W. (2017). Desarrollo de Películas Comestibles a partir de Proteínas Extraídas de la Torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Información Tecnológica*, 28(5), 115–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000500013>
- Goswami, S., & Naik, S. (2014). Natural gums and its pharmaceutical application. *Journal of Scientific and Innovative Research JSIR*, 3(31),

112–121.

- Gutiérrez-Pulido, H., & De la Vara-Salazar, R. (2008). *Diseños factoriales 2k. Análisis y diseño de experimentos*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Habibi, H., & Khosravi-Darani, K. (2017). Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *10*, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.013>
- Han, J. H., & Floros, J. D. (1997). Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, *13*(4), 287–298. <https://doi.org/10.1177/875608799701300405>
- Hatami, M., Nejatian, M., Mohammadifar, M. A., & Pourmand, H. (2014). Milk protein-gum tragacanth mixed gels: Effect of heat-treatment sequence. *Carbohydrate Polymers*, *101*(1), 1068–1073. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.004>
- Ivanković, A., Dronjić, A., Bevanda, A. M., & Talić, S. (2017). Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice, (July). <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20170603.12>
- L'Hocine, L., Boye, J. I., & Arcand, Y. (2006). Composition and Functional Properties of Soy Protein Isolates Prepared Using Alternative Defatting and Extraction Procedures. *Journal of Food Science*, *71*(3), C137-145. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15609.x>
- López-Castejón, M. L., Bengoechea, C., García-Morales, M., & Martínez, I. (2016). Influence of tragacanth gum in egg white based bioplastics: Thermomechanical and water uptake properties. *Carbohydrate Polymers*, *152*, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.041>
- Ma, Q., Hu, D., Wang, H., & Wang, L. (2016). Tara gum edible film incorporated with oleic acid. *Food Hydrocolloids*, *56*, 127–133.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.033>

- 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 -R = S. *Journal of Food Science*, 58(4), 899–903.
- Mehrotra, R. (2000). Infrared Spectroscopy, Gas Chromatography/Infrared in Food Analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 1–18. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a1013>
- Mercado, J. L. ., Elías, C. C., & Pascual, G. J. (2015). Obtención de un aislado proteico de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L .) y evaluación de sus propiedades tecno-funcionales protein isolated from cake of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L .). *Anales Científicos*, 76(1), 160–167.
- METTLER TOLEDO. (2014). *Instrucciones de manejo: Analizador de humedad*.
- Montalvo, C., López Malo, A., & Palou, E. (2012). Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2, 32–46. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.04.042>
- Nascimento, E. M. da G. C. do, Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Freitas, D. D. G. C., & Ascheri, J. L. R. (2012). Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Research International*, 45(1), 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.009>
- Nemet, N. T., Šošo, V. M., & Lazić, V. L. (2010). Effect of glycerol content and pH value of film-forming solution on the functional properties of protein-based edible films. *Acta Periodica Technologica*, 41, 57–67. <https://doi.org/10.2298/APT1041057N>
- Nur Hazirah, M. A. S. P., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2016). Effect of xanthan gum on the physical and mechanical properties of gelatin-carboxymethyl cellulose film blends. *Food Packaging and Shelf Life*, 9,

55–63. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.05.008>

Onsaard, E. (2012). Sesame proteins. *International Food Research Journal*, 19(4), 1287–1295.

Piermaria, J., Bosch, A., Pinotti, A., Yantorno, O., Garcia, M. A., & Abraham, A. G. (2011). Kefiran films plasticized with sugars and polyols: water vapor barrier and mechanical properties in relation to their microstructure analyzed by ATR/FT-IR spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1261–1269. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.11.024>

Rao, K. M., Kumar, A., Krishna Rao, K. S. V., Haider, A., & Han, S. S. (2017). Biodegradable Tragacanth Gum Based Silver Nanocomposite Hydrogels and Their Antibacterial Evaluation. *Journal of Polymers and the Environment*, 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-0989-2>

Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S., & Phongthai, S. (2016). Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sacha inchi seeds. *Food Bioscience*, 15, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.05.004>

Russin, T. A., Arcand, Y., & Boye, J. I. (2007). Particle size effect on soy protein isolate extraction. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31(3), 308–319. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2007.00127.x>

Saberi, B., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2017). Physical and mechanical properties of a new edible film made of pea starch and guar gum as affected by glycols, sugars and polyols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 345–359. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.051>

Sadhukhan, S. (2011). Preparation and Characterization of Polymer Electrolyte.

Sandoval, A., & Aldana, E. (2005). Aplicación Del Análisis Por Calorimetría Diferencial De Barrido (Dsc), 72, 45–53.

Saremnezhad, S., Azizi, M. H., Barzegar, M., Abbasi, S., & Ahmadi, E. (2011). Properties of a new edible film made of faba bean protein isolate.

Journal of Agricultural Science and Technology, 13(2), 181–192.

Sharma, L., & Singh, C. (2016a). Composite Film Developed From Blends of Sesame Protein Isolate and Gum Rosin and Their Properties Thereof. *Polymers and Polymer Composites*, 16(2), 101–113. <https://doi.org/10.1002/pc>

Sharma, L., & Singh, C. (2016b). Sesame protein based edible films: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*, 61, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.007>

Smith, W. (1998). Materiales Poliméricos. In *Ciencia e Ingeniería de Materiales* (Tercera Ed, pp. 327–394). Madrid.

Sui, C., Zhang, W., Ye, F., Liu, X., & Yu, G. (2016). Preparation, physical, and mechanical properties of soy protein isolate/guar gum composite films prepared by solution casting. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(18), 1–9. <https://doi.org/10.1002/app.43382>

Agricultura, D. d. (2006). Recuperado el 09 de 06 de 2017, de FAO: <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0v.htm>

Anastas , P., & Warner, J. (1998). Green Chemistry: Theory and Practice. *Oxford University Press*, 30.

Askeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México, D.F. McGraw-Hill.

Baillie, C. (2004). Green Composites: Polymer composites and the enviroment. *CRC Press*.

Cho, S.-W., Skrifvars, M., Hemanathan, K., Mhimaissenan, P., & Adekunle, K. (2014). Regenerated Cellulose Fibre Reinforced Casein Films: Effect of Plasticizer and Fibres on the Fil Properties. *Macromolecular Research*, 701-709.

- Commission, G. O. (2015). *Plastics - the Fact 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Infografía.
- Downey, G. (2016). Advances in Infrared Spectroscopy for Food Authenticity Testing. En *Advances in Food Authenticity* (págs. 75-78). Dublin: ELSEVIER.
- Dricoll, S. (1998). The basics of testing plastics: mechanical properties, flame exposure, and general guidelines. *ASTM International*.
- Ecoembes, Ecoembalajes España S.A. (2008). *Informe sobre biodegradabilidad teorica de envases plásticos*. Ecoembes.
- Ecuador en Cifras. (2014). *Documento Técnico Modulo de Hogares*. Quito: Inec.
- El Universo. (24 de 08 de 2013). Indiscriminado uso de las fundas agrava problema de contaminación. pág. 5. Recuperado el 2 de 8 de 2017
- García, S. (2008). Referencias historicas y evolucion de los plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 71-80.
- Instituto Petroquímico Ecuatoriano*. (06 de 07 de 2015). Recuperado el 23 de 07 de 2017, de <http://www.ipe.org.ec/la-industria-del-plastico-padece-una-contraccion/>
- Sánchez, N. (15 de 03 de 2010). *Veoverde*. Recuperado el 20 de 07 de 2017, de <https://www.veoverde.com/2010/03/estadisticas-sobre-las-bolsas-plasticas/>
- Saxena, A., Schaffer, j., Antolovich, S., & Sanders, T. (2000). *Ciencia y diseño de materiales para ingeniería*. México, D.F.: Cecsá.
- SENPLADES. (2013). *Priorización para la Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES) del Proyecto: Gestión Integral de Desechos Sólidos*.
- Sharma, L., & Singh, C. (2016). Composite Film Developed From the Blends of Sesame Protein Isolate and Gum Rosin and Their Properties Thereof. *Polymer composites*, 1-8.

- The British Dietetic Association. (2003). Pediatric group position statement on the use of soya protein. *Journal family Care*, 93.
- Tropicos.org. (25 de 03 de 2014). *Tropicos.org*. Recuperado el 21 de 07 de 2017, de <http://www.tropicos.org/Name/12802411>
- UNEP. (2016). Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and reserch to inspire action and guide policy change. *United Nations Enviroment Programme*. Nairobi.
- Van soest, J. (1996). Bioplastic. *Ind. Crops and Prod*, 11-22.
- Wu, J., Zhong, F., Shoemaker, C., & Xia, W. (2013). Preparation and characterization of pullulan-chitosan and pullulan-carboxymethyl chitosan blended films. *Food Hidrocolloids*, 82-91.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **JONATHAN JAVIER SAYAVEDRA DELGADO.**

En la ciudad de Latacunga, a los **07 días del mes de marzo del 2018.**

Dr. Rer. Nat., Ph.D Roman
Rodríguez Maecker

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



Dr. Rer. Nat., Ph.D Roman
Rodríguez Maecker

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Freddy Jaramillo Checa
SECRETARIO ACADÉMICO