



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**“CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMERO OBTENIDO A PARTIR
DE LECHE DE VACA Y ALMIDÓN DE YUCA”**

AUTORES:

BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO

PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE

TUTOR:

I.Q. TONY COLOMA COLOMA, MSC.

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO**

**“CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMERO OBTENIDO A PARTIR
DE LECHE DE VACA Y ALMIDÓN DE YUCA”**

AUTORES:

**BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO
PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE**

TUTOR:

I.Q. TONY COLOMA COLOMA, MSC.

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	"CARACTERIZACION DE UN BIOPOLIMERO OBTENIDO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDON DE YUCA"	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE; BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	TUTOR: COLOMA COLOMA TONY WELLINTON	
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
UNIDAD/FACULTAD:	INGENIERÍA QUÍMICA	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:		
GRADO OBTENIDO:	TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO	
FECHA DE PUBLICACIÓN:		No. DE PÁGINAS: 96
ÁREAS TEMÁTICAS:		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Película comestible, biopolímero, caseína, almidón, pulsos eléctricos.	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	Las películas comestibles se utilizan para alargar la vida útil de los alimentos actuando como barrera selectiva contra los gases y la humedad. Esta investigación consistió en obtener un biopolímero plástico, con características similares a las de los plásticos convencionales. Para ello se decidió elaborar una mezcla a base de proteínas de la leche que son obtenidas por medio de electroporación que consiste en separar la caseína por medio de pulsos eléctricos con un voltaje de 60 V a corriente continua con un tiempo determinado de 30 min. Así como también se utilizó almidón, ya es uno de los biopolímeros naturales más baratos y abundantes debido a su fácil obtención a partir de diversas fuentes vegetales, realizando las mezclas almidón-caseína en proporciones de 20-5, 15-10, 10-15 gr, respectivamente agregando aditivos como glicerina, alginato y gelatina para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Las muestras obtenidas se le realizaron análisis de tensión, humedad, densidad y solubilidad.	
ADJUNTO PDF:	SI	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: Maritza Peralta: 0985961844 Rosman Bustamante: 0939523864	E-mail: mbpa.1777@gmail.com rosman.bustamante95@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre:	
	Teléfono:	
	E-mail:	



Universidad de Guayaquil

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

Guayaquil, 27 Febrero 2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado Cecilia Uzcá Sarmiento, con C.I.: 0921160214, tutor revisor del trabajo de titulación "CARACTERIZACION DE BIOPOLIMERO OBTENIDO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDON DE YUCA", certifico que el presente trabajo de titulación, elaborado PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE, con C.I. **095095179-8** y BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO, con C.I. **030266587-2**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUÍMICO, en la Carrera/Facultad, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

C.I.: 0921160214



Universidad de Guayaquil

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO
EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**

Nosotros, PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE, con C.I. **095095179-8** y BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO, con C.I. **030266587-2**, certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“CARACTERIZACION DE BIOPOLIMERO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDON DE YUCA”** son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente.

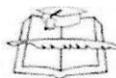
Maritza Peralta Avila

Peralta Ávila Maritza Bethsabé
Con C.I: 095095179-8

Rosman Bustamante

Bustamante Limones Rosman Eduardo
Con C.I: 030266587-2

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.



Universidad de Guayaquil

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**

Guayaquil, 15 de Enero del 2018

**Sra. Sandra Peña
DIRECTORA DE LA CARRERA/ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad.-**

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de "CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMERO OBTENIDO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDÓN DE YUCA" de los estudiantes PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE y BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 14 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 20 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que los estudiantes Rosman Eduardo Bustamante Limones y Maritza Bethsabé Peralta Avila están aptos para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Qco. COLOMA COLOMA TONY, MSc.

DEDICATORIA

Este trabajo primeramente se lo dedico a Dios por permitirme llegar a este punto en mi carrera y poder lograr una de mis metas, así como otorgarme la sabiduría y salud necesaria para salir adelante día a día y sobre todo por su infinita misericordia y amor.

A mi madre Rosa Avila quien ha sido el pilar fundamental en mi vida brindándome su apoyo y amor incondicional demostrándome cada día el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi padre Luis Peralta quien a pesar de no estar conmigo físicamente sus consejos y su infinito amor siguen presentes dentro de mi corazón.

A mis hermanos Blanca y Luis quienes han sido mi ayuda y apoyo a través de los años, por estar conmigo en las circunstancias más difíciles.

A mis amigos, que han sido como mi segunda familia en mi etapa universitaria a María, Elizabeth y Kathy gracias por convertirse en mis hermanas brindándome su cariño y amistad sincera, así mismo Kasandra y Rosman por ser un apoyo incondicional en mi vida y por ultimo a mi novio Edison quien ha sido una de las personas en brindarme su apoyo y cariño alentándome cada día a seguir adelante teniendo las palabras necesarias para guiarme.

PERALTA AVILA MARITZA BETHSABE

DEDICATORIA

Con gran humildad le dedico este trabajo primero a Dios, por haber sido mi fortaleza en los momentos difíciles y estar conmigo en todo momento.

De igual forma dedico este trabajo a mis padres quienes supieron formarme con buenos sentimientos, valores y hábitos que me han permitido seguir siempre adelante.

A mi hermano y mi hermana que siguen mi ejemplo para ser profesionales algún día y a mi familia en general que me brindan su incondicional apoyo.

A mis amigos y amigas que se volvieron como mi segunda familia durante el tiempo que estuve en la universidad.

BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por haberme permitido culminar una etapa de mi vida y brindarme la sabiduría necesaria para terminar este trabajo de titulación.

A mi familia que fueron mi fuerza en todo momento guiándome, dándome su apoyo incondicional y las palabras necesarias para esforzarme al máximo ya que esto es un logro para todos, los amo con todo el corazón.

A mi tutor el Ing. Tony Coloma, por su guía, su tiempo, sus conocimientos brindados en este trabajo.

A la Ing. Lilia Casabona por su colaboración de los laboratorios centrales de física, Ing Plutarco Ponce por su ayuda brindada en este trabajo de Titulación.

A mis amigos quienes fueron una ayuda en toda mi etapa universitaria convirtiéndose en mi segunda familia, gracias por sus consejos.

A mi compañero de titulación Rosman Bustamante por ser más que un amigo, un hermano quien me apoyo y brindo su cariño, paciencia y sobretodo esa confianza para no dejarme caer ante ninguna circunstancia.

Con todo el corazón, MARITZA BETHSABE PERALTA AVILA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le doy gracias a Dios por permitirme seguir con vida para culminar este trabajo, así como esta etapa de mi vida, darme la determinación para seguir siempre adelante y ayudarme a escoger las decisiones correctas.

Así mismo quiero agradecerles a:

A mis padres por la confianza y el apoyo brindado de su parte y estar conmigo cuando más los necesitaba, por las veces que me hacían compañía en esas largas y desveladas, noches de arduos trabajos, por corregir mis errores y celebrar mis triunfos y sobre todo por ser mi motivación para seguir adelante cada día.

A mis tías Miryam y Yalile Limones que estuvieron siempre al pendiente de mis hermanos y de mí para apoyarnos en lo que estaba a su alcance, también a mis abuelas Piedad Sánchez y Teobalda Gamboa y mis abuelos Pedro Limones y Lorenzo Bustamante, que en paz descanse, que nunca han dejado de estar atentos conmigo.

A mis mejores amigas Ariana y Elena con llegue a compartir buenos momentos y estuvieron conmigo brindándome su ayuda y su apoyo durante el transcurso de mi carrera universitaria. También a mis amigas Diana, Patricia, Jennifer, María y Mariuxi que siempre supieron sacarme una sonrisa.

A Ing. Plutarco Ponce por toda su colaboración brindada, durante la elaboración de este trabajo y volverse un gran amigo y colega en los años de la universidad.

Y finalmente, a mi compañera de tesis Bethsabé quien gracias a este trabajo se convirtió en una gran amiga y aliada durante estos meses.

BUSTAMANTE LIMONES ROSMAN EDUARDO

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACION DEL TUTOR REVISOR.....	III
LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADEMICOS.....	IV
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	V
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	IX
TABLA DE CONTENIDO.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XVI
INDICE DE FIGURAS.....	XVII
INDICE DE GRAFICAS.....	XVII
RESUMEN	- 1 -
ABSTRACT.....	- 2 -
INTRODUCCIÓN	- 3 -
CAPITULO 1.....	- 5 -
1.1. TEMA	- 5 -
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 5 -
1.3. FORMULACION Y SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA	- 7 -
1.3.1. Formulación del problema	- 7 -
1.3.2. Sistematización del problema	- 7 -
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	- 7 -
1.4.1. Objetivo General	- 7 -
1.4.2. Objetivos Específicos	- 7 -
1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	- 8 -
1.5.1. Justificación Teórica	- 8 -
1.5.2. Justificación Metodológica	- 8 -

1.5.3. Justificación Práctica	- 8 -
1.6. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION	- 9 -
1.7. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	- 9 -
1.8. VARIABLES DE LA INVESTIGACION.....	- 10 -
1.8.1. Variable Dependiente.....	- 10 -
1.8.2. Variable Independiente	- 10 -
1.9. OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES	- 10 -
CAPITULO 2.....	- 12 -
2.1. MARCO REFERENCIAL	- 12 -
2.1.1. Antecedentes de la investigación	- 12 -
2.2. MARCO TEORICO.....	- 13 -
2.2.1. Leche	- 13 -
2.2.1.1. Definiciones	- 13 -
2.2.1.2. Composición de la leche	- 13 -
2.2.1.3. Agua en la leche.....	- 14 -
2.2.1.4. Proteínas de la leche.....	- 14 -
2.2.1.5. Compuestos grasos.....	- 15 -
2.2.1.6. Carbohidratos de la leche	- 16 -
2.2.2. Almidón	- 16 -
2.2.2.1. Definición.....	- 16 -
2.2.2.2. Propiedades del almidón	- 18 -
2.2.2.3. Propiedades fisicoquímicas del almidón	- 18 -
2.2.2.4. Propiedades funcionales del almidón	- 19 -
2.2.3. Campos Eléctricos Pulsantes de Alta Intensidad (CEPAI).....	- 20 -
2.2.3.1. Mecanismos de Inactivación Microbiológica por medio de Campos Eléctricos Pulsantes de Alta Intensidad.....	- 21 -
2.2.3.1.1. Electroporación	- 21 -

2.2.4. Películas comestibles.....	- 22 -
2.2.4.1. Funciones de las películas comestibles.....	- 23 -
2.2.4.2. Requisitos y ventajas de las películas comestibles.....	- 24 -
2.2.4.3. Componentes de películas comestibles.....	- 24 -
2.2.4.3.1. Polisacáridos.....	- 24 -
2.2.4.3.2. Proteínas.....	- 25 -
2.2.4.3.3. Películas a base de proteína.....	- 26 -
2.2.4.4. Mezclas.....	- 28 -
2.2.4.4.1. Mezclas de polímeros naturales.....	- 28 -
2.2.4.5. Propiedades y formación de las películas comestibles.....	- 30 -
2.2.4.6. Propiedades físicas.....	- 31 -
2.2.4.6.1. Cristalinidad.....	- 31 -
2.2.4.6.2. Transparencia y opacidad.....	- 31 -
2.2.4.6.3. Solubilidad.....	- 32 -
2.2.4.7. Propiedades mecánicas.....	- 32 -
2.2.4.7.1. Tracción.....	- 33 -
2.2.4.7.2. Permeabilidad.....	- 33 -
2.2.4.7.3. Biodegradación.....	- 34 -
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	- 35 -
2.4. MARCO LEGAL.....	- 36 -
CAPITULO 3.....	- 38 -
3. MARCO METODOLOGICO.....	- 38 -
3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACION.....	- 38 -
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	- 38 -
3.3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	- 38 -
3.4. RECURSOS.....	- 39 -
3.4.1. Materia Prima.....	- 39 -

3.4.1.1. Agua.....	- 39 -
3.4.1.2. Leche de vaca.....	- 39 -
3.4.1.3. Almidón de yuca	- 39 -
3.4.1.4. Glicerina.....	- 39 -
3.4.1.5. Gelatina	- 40 -
3.4.1.6. Alginato.....	- 40 -
3.4.1.7. Benzoato de sodio	- 40 -
3.4.2. Materiales y Equipos	- 41 -
3.4.2.1. Equipos	- 41 -
3.4.2.2. Materiales.....	- 41 -
3.5. FORMULACION DE LOS EXPERIMENTOS Y DESCRIPCION DEL PROCESO.....	- 41 -
3.5.1. Obtención de película fat y magro de leche	- 41 -
3.5.1.1. Recepción	- 41 -
3.5.1.2. Electroporación y filtración.....	- 42 -
3.5.1.3. Secado de la película.....	- 42 -
3.5.1.4. Molienda.....	- 43 -
3.5.1.5. Pesado	- 43 -
3.5.1.6. Almacenamiento de las muestras.....	- 43 -
3.5.2. Obtención del biopolímero.....	- 43 -
3.5.2.1. Mezclado	- 43 -
3.5.2.2. Calentamiento	- 43 -
3.5.2.3. Moldeo	- 44 -
3.5.2.4. Secado	- 44 -
3.5.2.5. Almacenamiento.....	- 44 -
3.5.3. Formulación de las muestras del biopolímero.....	- 44 -
3.6. INGENIERIA DE PROCESOS	- 45 -

3.7. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.....	- 46 -
CAPITULO 4.....	- 51 -
4. RESULTADOS Y ANALISIS	- 51 -
4.1. ANALISIS DE LA COMPOSICION EN LA LECHE.....	- 51 -
4.2. APARIENCIA DE LAS PELICULAS HUMEDAS DE FAT Y MAGRO DE LECHE.....	- 52 -
4.3. APARIENCIA DE LAS PELICULAS SECAS DE FAT Y MAGRO DE LECHE.....	- 53 -
4.4. COMPARACION DE PELICULAS OBTENIDAS EN MATERIALES DE PVC Y NYLON.....	- 54 -
4.5. RENDIMIENTO DE LA FORMACION DE LAS PELICULAS.....	- 55 -
4.6. ANALISIS DE LA FORMULACION DEL BIOPOLIMERO	- 58 -
4.7. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL BIOPOLIMERO	- 59 -
4.7.1. Tensión.....	- 59 -
4.7.2. Densidad.....	- 60 -
4.7.3. Solubilidad.....	- 61 -
4.7.4. Humedad.....	- 61 -
4.7.5. Curvas de Secado.....	- 62 -
CAPITULO 5.....	- 65 -
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 65 -
5.1. CONCLUSIONES	- 65 -
5.2. RECOMENDACIONES	- 66 -
BIBLIOGRAFIA	- 67 -
ANEXOS	- 76 -
Anexo 1: Fotografías.....	- 76 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	- 10 -
Tabla 2: Composición (%) de la leche de diferentes razas de ganado vacuno.....	- 14 -
Tabla 3: Propiedades de los componentes del almidón	- 18 -
Tabla 4: Características de los gránulos de almidón	- 19 -
Tabla 5: Resumen de inactivaciones microbiológicas mediante el uso de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad	- 22 -
Tabla 6: Funciones de las películas comestibles	- 23 -
Tabla 7: Requisitos y ventajas del uso de películas comestibles	- 24 -
Tabla 8: Composición y características de las películas a partir de carbohidratos	- 25 -
Tabla 9: Formulación y características de las películas proteicas.....	- 26 -
Tabla 10: Densidad $kg/3$ de los componentes de la leche en base a la temperatura	- 47 -
Tabla 11: Cp de los diferentes componentes de la leche.....	- 48 -
Tabla 12: Composición de la leche en base al Lacticheck	- 51 -
Tabla 13: Cambios de temperatura (°C) al obtener la película de fat y magro de leche	- 55 -
Tabla 14: Tiempo máximo para alcanzar una temperatura constante	- 56 -
Tabla 15: Masa (gr) obtenida de la película de fat y magro de la leche.....	- 56 -
Tabla 16: Diferencias de peso en películas obtenidas en el mismo tiempo (30 min) y voltaje (60 V)	- 57 -
Tabla 17: Formulación para biopolímero en relación almidón/sólidos de leche (con glicerina).....	- 58 -
Tabla 18: Formulación para biopolímero en relación almidón/sólidos de leche (con gelatina o alginato).....	- 59 -
Tabla 19: Cantidad en peso de fuerza de tensión mezcla almidón-caseína	- 59 -
Tabla 20: Densidad del biopolímero	- 60 -
Tabla 21: <i>Tabla de Solubilidad</i>	- 61 -
Tabla 22: Contenido de humedad	- 62 -
Tabla 23: Curvas de secado del biopolímero con alginato	- 63 -
Tabla 24: Curvas de secado del biopolímero con gelatina.....	- 63 -
Tabla 25: Curvas de secado del biopolímero con glicerina	- 64 -

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la zona de trabajo.....	- 9 -
Figura 2. Estructura de la lactosa	- 16 -
Figura 3. Estructura de la amilosa	- 17 -
Figura 4. Estructura de la amilopectina	- 17 -
Figura 5. Representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el tratamiento hidrotérmico.....	- 20 -
Figura 6. A) Fragmento de la membrana celular. B) Membrana celular bajo un campo eléctrico.....	- 21 -
Figura 7. Representación esquemática de los procesos tecnológicos utilizados para obtener películas comestibles de proteínas	- 27 -
Figura 8. Clasificación de la mezcla de polímeros con recursos renovables y biodegradables	- 28 -
Figura 9. Funciones selectivas y activas de películas y recubrimientos	- 30 -
Figura 10. Patrones de difracción A, B, C y de los almidones nativos.....	- 31 -
Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de la obtención de la película de fat y magro de leche.....	- 45 -
Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de la elaboración del biopolímero	- 45 -
Figura 13. Diagrama de secado de la película de fat y magro de leche.....	- 46 -
Figura 14. Balance de materia de electroporación y filtración de la leche	- 49 -
Figura 15. Muestras húmedas de las películas de fat y magro de leche	- 52 -
Figura 16. Muestras secas de las películas de fat y magro de la leche	- 53 -
Figura 17. Muestras de películas de fat y magro de leche obtenidas en Nylon (izquierda y centro) y PVC (derecha)	- 54 -

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Variaciones de temperatura en la obtención de la película.....	- 55 -
Gráfica 2. Masa (gr) de película obtenida en la leche	- 57 -
Gráfica 3. Diferencias de pesos en películas aplicando el mismo tiempo (30 min) y voltaje (60 V).....	- 58 -
Gráfica 4. Curvas de secado del biopolímero.....	- 64 -



Universidad de Guayaquil

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE TITULACIÓN

“CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMERO OBTENIDO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDÓN DE YUCA”

Autores: Bustamante Limones Rosman Eduardo, Peralta Ávila Maritza Bethsabé

Tutor(a): Ing. Tony Coloma

RESUMEN

Las películas comestibles se utilizan para alargar la vida útil de los alimentos actuando como barrera selectiva contra los gases y la humedad. Esta investigación consistió en obtener un biopolímero plástico, con características similares a las de los plásticos convencionales. Para ello se decidió elaborar una mezcla a base de proteínas de la leche que son obtenidas por medio de electroporación que consiste en separar la caseína por medio de pulsos eléctricos con un voltaje de 60 V a corriente continua con un tiempo determinado de 30 min. Así como también se utilizó almidón, ya es uno de los biopolímeros naturales más baratos y abundantes debido a su fácil obtención a partir de diversas fuentes vegetales, realizando las mezclas almidón-caseína en proporciones de 20-5, 15-10, 10-15 gr, respectivamente agregando aditivos como glicerina, alginato y gelatina para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Las muestras obtenidas se le realizaron análisis de tensión, humedad, densidad y solubilidad.

Palabras claves: película comestible, biopolímero, caseína, almidón, pulsos eléctricos.



Universidad de Guayaquil

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE TITULACIÓN

"CHARACTERIZATION OF BIOPOLIMER OBTAINED FROM MILK OF COW AND YUCA STARCH"

Authors: Bustamante Limones Rosman Eduardo, Peralta Ávila Maritza Bethsabé

Advisor: Ing. Tony Coloma

ABSTRACT

Edible films are used to extend the shelf life of foods by acting as a selective barrier against gases and moisture. This investigation consisted of obtaining a plastic biopolymer, with characteristics similar to those of conventional plastics. For this purpose, it was decided to elaborate a mixture based on milk proteins that are obtained by means of electroporation that consists of separating the casein by means of electric pulses with a voltage of 60 V to direct current and eliminating microorganisms. As starch was also used, it is already one of the cheapest and most abundant natural biopolymers due to its easy obtaining from different vegetable sources, making starch-casein mixtures in proportions of 20-5, 15-10, 10-15 gr, respectively adding additives such as glycerin, alginate and gelatin to improve their physical and mechanical properties. The samples obtained were analyzed for tension, humidity, density, solubility and biodegradability.

Keywords: edible film, biopolymer, casein, starch, electric pulses.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido a la demanda de producción sustentable se busca que los materiales con los que se fabrican los envases tengan el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Como respuesta a esta necesidad surgieron los materiales biodegradables.

Los biopolímeros han generado gran interés de estudio debido a la mayor conciencia de los problemas ambientales que generan las grandes cantidades de plástico desechado, en su mayoría procedente de combustibles fósiles y con tiempos de degradación muy elevados, (100-300 años) para ser asimilados nuevamente por la naturaleza.

Los materiales comúnmente utilizados para la elaboración de envases biodegradables pueden ser de uso alimentario que proceden de fuentes renovables y se caracterizan por ser capaces de formar películas que presentan propiedades (mecánicas, de barrera y de transmisión de la luz) similares a los plásticos convencionales, pero con una alta capacidad de biodegradación. Muchos de estos materiales presentan la ventaja adicional de ser comestibles por estar formulados con compuestos naturales a diferencia de los plásticos derivados del petróleo.

El desarrollo de películas comestibles ha tomado mucha importancia debido a que el uso de estos materiales permite preservar y retrasar el deterioro de los alimentos, mejorar las propiedades organolépticas y reducir el uso de materiales de embalaje no degradables en muchos productos alimenticios.

Para la formulación de las películas comestibles, pueden emplearse almidones, derivados de celulosa, quitosano, gomas, proteínas del suero láctico, concentrados de proteína de soja como así también grasas y aceites (Phan et al., 2009; Chillo et al., 2008).

Este trabajo de investigación tiene como finalidad crear una película comestible a base de recursos renovables y de bajo costo como el almidón y la caseína de la leche, obteniendo así un producto que sea amigable con el medio ambiente y fácil de degradar preservando los alimentos.

CAPITULO 1

1.1.TEMA

Caracterización de biopolímero obtenido a partir de leche de vaca y almidón de yuca.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, los problemas de contaminación por plásticos derivados del petróleo han adquirido tal magnitud y diversidad que la sociedad ha ido tomando cada vez conciencia de los riesgos actuales que estos desechos representan por su difícil degradación.

Uno de estos productos causantes del deterioro ambiental ha sido los polímeros sintéticos, los cuales en la actualidad son uno de los más demandados por los consumidores, gracias a su versatilidad y costo.

En 2011 Ecuador produjo alrededor de 9300 toneladas diarias de basura, de estas el 58% son residuos orgánicos y 42% son residuos inorgánicos (el 70% generados en los hogares y el 30% en industrias y el comercio), de los residuos inorgánicos el 9% es papel, 11% es plástico, 2% es vidrio, 2% es aluminio y el 18% restante otros componentes. Además, Leonor Silva presidente de la recicladora Fibras Nacional en Guayaquil indica que el 80% de la basura es reutilizable habiendo un buen manejo de los desechos, pero más del 90% de los municipios recolectan los residuos mezclados dificultando su reutilización, 2008 solo el 5,22% de la basura pudo ser reciclada. (Jaramillo, 2011)

Además de ello la ONG estadounidense en 2014 dio un informe de limpieza de playas en el cual ubica a Ecuador en el sexto lugar del top 15 entre 87 países participantes. (Quiñonez, 2015)

Por tal razón, la ciencia está en la búsqueda de nuevos materiales como forma de desarrollo tecnológico, industrial y ambiental, utilizando recursos renovables y/o materiales biodegradables para sus distintas aplicaciones.

En la actualidad son utilizados cada vez con mayor frecuencia plásticos biodegradables en artículos cuya vida útil requiere de un solo uso. Los materiales utilizados en la preparación de recubrimientos y películas proceden de diversas fuentes del reino animal y vegetal, tanto terrestre como marino, y así como procedente de los microorganismos.

Entre los polímeros naturales, el almidón ha sido considerado como uno de los más prometedores candidatos para futuros materiales debido a una atractiva combinación entre precio, disponibilidad y termoplasticidad. A través del uso de diferentes almidones y aditivos biodegradables no tóxicos es posible formular polímeros con una amplia gama de propiedades, útiles para aplicaciones de envase y empaque, con la capacidad de degradarse en ambientes biológicamente activos, produciendo dióxido de carbono, agua y minerales, sin dejar residuos tóxicos, peligrosos o sintéticos en el ambiente.

Las proteínas derivadas de la leche, como las del suero y caseína, se han estudiado ampliamente por su valor nutricional. La caseína se utiliza para obtener películas a partir de soluciones acuosas puesto que es capaz de formar enlaces intermoleculares ya sea de hidrógeno, electrostático e hidrofóbico que pueden incrementar la cohesión del polímero.

1.3. FORMULACION Y SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA

1.3.1. Formulación del problema

¿Es posible obtener un biopolímero comestible que sirva de recubrimiento de alimentos mediante el uso de materiales degradables como la leche de vaca y el almidón de yuca?

1.3.2. Sistematización del problema

- ¿Se podrá obtener una buena eficiencia de conservación de las proteínas al aplicar pulsos eléctricos a la leche de vaca?
- ¿Cuál será el tiempo y voltaje adecuado para la obtención de la caseína?
- ¿Se logrará obtener buenas propiedades físicas y mecánicas si se mezcla estos 2 polímeros naturales?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1. Objetivo General

- Caracterizar el biopolímero obtenido a partir de la leche de vaca y el almidón de yuca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima base del biopolímero.
- Diseñar el proceso adecuado para la elaboración del biopolímero.
- Evaluar las propiedades del biopolímero obtenido.

1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

1.5.1. Justificación Teórica

La presente investigación se realiza con el motivo de aportar al conocimiento existente sobre biopolímeros a partir de recursos naturales de origen animal y vegetal, donde se propone plantear el uso de almidón de yuca y caseína de la leche (proteínas) obtenidas por medio de pulsos eléctricos evaluando, a través de los resultados, las diferentes proporciones agregadas; siendo la base fundamental para su elaboración.

Los polímeros biodegradables, tienen una fuerte ventaja frente a los plásticos derivados del petróleo ya que con las condiciones de compostaje adecuadas los polímeros biodegradables pueden degradarse en un corto periodo de tiempo, disminuyendo así el volumen de desechos.

1.5.2. Justificación Metodológica

Se determinará la viabilidad del biopolímero mediante el cual se establecerá un conjunto de experimentaciones preparando 3 tipos de mezclas.

Al utilizar diferentes proporciones de almidón-caseína y diferentes aditivos produce un nuevo material con una mejora en sus propiedades mecánicas, reológicas, físicas, químicas y biológicas.

1.5.3. Justificación Práctica

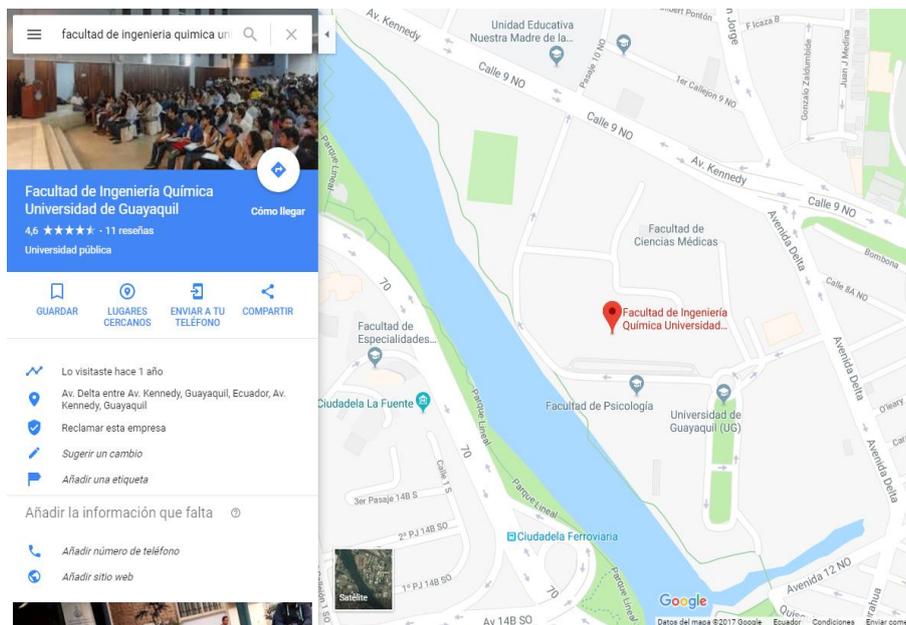
Esta investigación busca incentivar al desarrollo biotecnológico con miras a la protección y cuidado ambiental, de modo que el resultante de la mezcla sea un material biodegradable.

El proceso a emplearse consiste en someter la leche mediante pulsos eléctricos durante un determinado tiempo para separar las proteínas presentes en la misma, las cuales serán mezcladas con almidón de yuca y otros aditivos que ayuden a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del biopolímero deseado.

1.6. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION

Esta investigación tiene como fundamento la caracterización del biopolímero a obtener, el cual se realizará en los laboratorios de física, y en el laboratorio de operaciones unitarias ubicados en la facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

Figura 1. Mapa de la zona de trabajo



Fuente: (Google Maps, 2017)

1.7. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

Al mezclar almidón de yuca con las proteínas de la leche más la adición de algunos complementos, se podrá obtener un biopolímero con propiedades y características apropiadas.

1.8.VARIABLES DE LA INVESTIGACION

1.8.1. Variable Dependiente

- Propiedades físicas del biopolímero.
- Propiedades mecánicas del biopolímero.

1.8.2. Variable Independiente

- Elaboración del biopolímero

1.9.OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

Las variables operativas, para desarrollar la investigación de obtención del biopolímero se describen en la siguiente tabla:

Tabla 1: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	SUB-VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR DE MEDICIÓN
Independiente	Elaboración del biopolímero	Almidón de Yuca	Es una macromolécula compuesta de dos polisacáridos, la amilosa (en proporción del 25 %) y la amilopectina (75 %)	Gramos (gr)
		Película de Fat y Magro de Leche	Proteína de la leche del tipo fosfoproteína que se separa por acidificación y forma una masa blanca	Gramos (gr)
		Electroporación	Pulso eléctrico de alto voltaje que se utiliza para inducir un estado eficaz de poración en una membrana.	Voltaje: Continuo Tiempo (min)

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	SUB- VARIABLE	DEFINICION	INDICADOR DE MEDICION	NORMA
Dependiente	Propiedades físicas del biopolímero.	Solubilidad	Cantidad máxima de soluto que puede disolverse en una cantidad determinada de solvente, a una temperatura dada.	Temperatura °C	----
		Transparencia	Es una propiedad óptica que posee un material cuando deja pasar la luz	Visual: color de la película	----
	Propiedades mecánicas del biopolímero	Densidad	Es la cantidad de masa (bioplástico) en un determinado volumen de una sustancia (agua)	g/cm^3	---
		Tensión	Máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos.	g	ASTM D882 ISO 527-3
		Humedad	Cantidad de agua o vapor de agua que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo.		----

Fuente: (Autores, 2018)

CAPITULO 2

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. *Antecedentes de la investigación*

En los últimos años, la investigación sobre biopolímeros de origen natural ha sido un campo muy activo debido al gran impacto que los plásticos procedentes del petróleo presentan sobre el medio ambiente. Como resultado de estas investigaciones han surgido alternativas mediante la utilización de recursos naturales que pueden constituir una vía factible para reemplazar a los plásticos de uso habitual.

Uno de los biopolímeros naturales que ha sido muy estudiado, es el almidón, ya que es abundante y su proceso de obtención es de bajo costo.

La aplicación de películas comestibles de más importancia desde 1930, consiste en el uso de una emulsión elaborada a base de ceras y aceites en agua que eran aplicadas por aspersion en frutas para mejorar su apariencia. Para mejorar la calidad de los productos cárnicos durante el almacenamiento, se han utilizado un gran número recubrimientos elaborado a partir de polisacáridos, incluyendo alginatos, carragenatos, celulosa, pectina, y derivados de almidón (Donoso, 2006).

Estudios realizados por Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica en 2012 desarrolló un biopolímero a partir de desechos de piña y banano para fabricar bolsas plásticas, cucharas y platos. En el que se realizó la fermentación láctica para obtener el ácido láctico y posteriormente someterlo al proceso de polimerización.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Leche

2.2.1.1. Definiciones

Desde un punto de vista legal, la leche es un alimento primordial segregado por las glándulas mamarias de los mamíferos con la finalidad de nutrir a las crías en su primera fase de vida. Las principales características medibles son: densidad, índice crioscópico y de refracción, acidez, grasa y sólidos no grasos, gérmenes patógenos y presencia de antisépticos, antibióticos y sustancias alcalinas. (Estrada Martínez, 2011).

Desde el punto de vista dietético la leche es el alimento puro más próximo a la perfección. La principal proteína, la caseína, posee los aminoácidos esenciales y como fuente de calcio, fósforo y riboflavina (vitamina B12), tiene una contribución significativa a los requerimientos de vitaminas A y B1 (tiamina). Además de aportar lípidos y lactosa que constituyen una fuente de energía (Fuentes Guerra, 2010)

Químicamente, la leche es uno de los fluidos más completos existentes. El término “sólidos totales” se usa ampliamente para indicar todos los componentes excluyendo el agua. El agua representa un 86,5 al 87,5% de la leche, los sólidos totales alcanzan del 12,5 al 13,5% y los sólidos no grasos casi siempre están muy próximos al 9%. Mientras la definición física, señala que la leche es un líquido de color blanco opalescente característico. Este color se debe a la refracción que sufren los rayos luminosos que inciden en ella al chocar con los coloidales en suspensión. (Agudelo Gómez & Bedoya Mejía, 2005).

2.2.1.2. Composición de la leche

En la composición de la leche encontramos proteínas, lactosa, grasas, vitaminas, minerales y enzimas, los cuales difieren entre sí por su tamaño molecular y por su

solubilidad, convirtiendo a la leche en un complicado sistema físico-químico: las moléculas menores están representadas por las sales, lactosa y vitaminas hidrosolubles que se presentan en un estado de solución verdadera, mientras que en las moléculas mayores se encuentran los lípidos, proteínas y enzimas, aparentemente en estado coloidal. (Estrada Martínez, 2011) (Ver Tabla 2)

Tabla 2: Composición (%) de la leche de diferentes razas de ganado vacuno

Raza bovina	Agua	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Minerales y otros
Holstein	87,79	3,16	3,64	4,68	0,73
Ayrshire	87,31	3,31	3,88	4,82	0,68
Pardo Suiza	87,36	3,52	3,98	4,41	0,73
Guernsey	86,24	3,47	4,46	5,09	0,74
Jersey	85,96	3,73	4,64	4,96	0,71

Fuente: (Hazard, 2011) (Estrada Martínez, 2011)

2.2.1.3. Agua en la leche

Es la fase dispersante, en la que los glóbulos grasos y demás componentes de mayor tamaño se encuentran emulsionados o suspendidos. Las sustancias proteicas se encuentran formando un coloide en estado de “sol” liófilo (caseína u globulina) o liófilo (albúmina), mientras que la lactosa y las sales se hallan en forma de una solución verdadera. (Alais, 2001).

2.2.1.4. Proteínas de la leche

La cantidad promedio de proteína contenida en la leche es del 3,5% (variando del 2,9% al 3,9%) (Ver tabla 2). Esta proteína láctica es una mezcla de numerosas fracciones proteicas de pesos moleculares distintos. Las proteínas se clasifican en 2

grupos: caseínas (80%) y proteínas séricas (20%). (Agudelo Gómez & Bedoya Mejía, 2005).

La caseína es la proteína más abundante y la más característica de la leche por no encontrarse entre otros alimentos, su valor biológico en la alimentación se debe a su contenido de aminoácidos esenciales que se separan de la parte acuosa por acción de enzimas como la renina o la quimiocina, responsables de la precipitación de la caseína en la elaboración de quesos. (Agudelo Gómez & Bedoya Mejía, 2005)

También se encuentra la albumina que sigue en cantidad a la caseína, con una cantidad aproximada de 0,5%, estas a diferencia de la caseína, que es estable a la acción del calor, se desnaturalizan con facilidad. Y luego siguen las globulinas que son proteínas de alto peso molecular que también se las encuentra preformadas en la sangre, estas poseen la mayor fluctuación durante el periodo de lactancia que van desde el 9% al 16% del total de las proteínas que se pueden alcanzar durante el calostro. (Estrada Martínez, 2011)

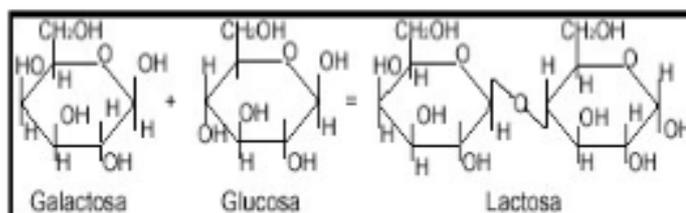
2.2.1.5. Compuestos grasos

La grasa láctea se sintetiza en su inmensa mayoría en las células secretoras de las glándulas mamarias y constituye cerca del 3% de la leche. Se encuentra en forma de partículas suspendidas en pequeños glóbulos microscópicos cuyo diámetro varía de 0,1 a 0,22 micrones rodeados de una capa de fosfolípidos que evitan que la grasa se aglutine y pueda separarse de la parte acuosa. La grasa de la leche puede sufrir alteraciones generadas a causa de la luz, del oxígeno y enzimas como la lipasa. (Fuentes Guerra, 2010)

2.2.1.6. Carbohidratos de la leche

La lactosa es el azúcar de la leche que por hidrólisis se desdobra en glucosa y galactosa, es decir, en azúcares más pequeños. (García & Ochoa, 2009).

Figura 2. Estructura de la lactosa



Fuente: (Agudelo Gómez & Bedoya Mejía, 2005)

Una proporción significativa de la población humana presenta intolerancia a la lactosa, por no sintetizar suficiente lactasa que es la enzima encargada de desdoblar la lactosa. (Agudelo Gómez & Bedoya Mejía, 2005).

2.2.2. Almidón

2.2.2.1. Definición

El almidón constituye una reserva energética en vegetales. Se almacena en forma de gránulos y pueden llegar a constituir hasta el 70% del peso de granos como el maíz, el trigo o de tubérculos como la papa. (Guerrero Anaya, 2014). El tamaño de los granulos de almidón puede variar entre 10 y 100 μm de diámetro y es un factor determinante de su procesabilidad, ya que afecta la solubilidad y el poder de hinchamiento del granulo. (Pardo, Castañeda, & Ortíz, 2013).

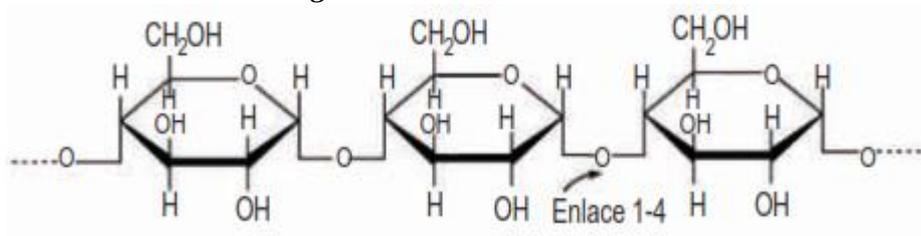
El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos, hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables. El almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional, ya sea como espesante, estabilizante y gelificante en la industria alimentaria, pero es necesario buscar nuevas fuentes de extracción ya que con una producción mundial de 48,5 millones de ton/año, la

demanda del mismo es insatisfactoria. (Hernandez Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

El almidón es una mezcla de 2 polisacáridos: La amilosa y la amilopectina, polisacáridos que son muy similares.

La amilosa es un polímero lineal formado por 250 a 300 unidades de α -D-glucopiranososa, unidas únicamente por enlaces $1\alpha \rightarrow 4$, se disuelve fácilmente en agua, adquiriendo una estructura secundaria característica de forma helicoidal, en la que cada vuelta de hélice comprende 6 unidades de glucosa. Suele constituir del 25 al 30% del almidón. (Guerrero Anaya, 2014). (Ver figura 4)

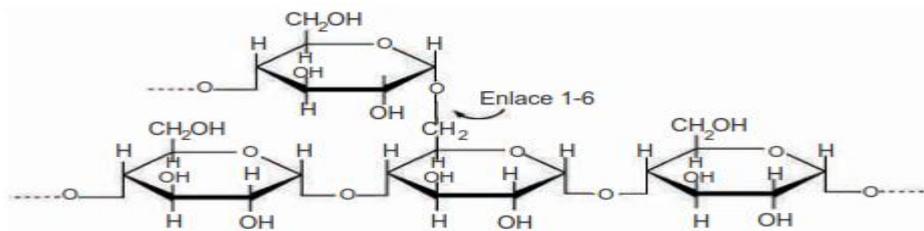
Figura 3. Estructura de la amilosa



Fuente: (Aristazábal & Sánchez, 2007)

La amilopectina es un polímero ramificado, compuesto por unas 1000 unidades de α -D-glucopiranososa. Además de los enlaces $1\alpha \rightarrow 4$, contiene enlaces $1\alpha \rightarrow 6$ que están regularmente espaciadas cada 25 a 30 unidades de glucosa y son los puntos de ramificación de la estructura. Generalmente conforman del 70 a 75% del peso del almidón. (Pardo, Castañeda, & Ortíz, 2013).

Figura 4. Estructura de la amilopectina



Fuente: (Aristazábal & Sánchez, 2007)

El nivel de amilosa encontrado en el almidón varía dependiendo del origen. Muchos almidones tales como los del maíz común, trigo, papa y yuca contienen

alrededor de 18 a 28% de amilosa; el maíz y el trigo están en el extremo más alto del rango, mientras la papa y la yuca se encuentran en el extremo más bajo. El almidón de yuca posee entre el 17 y 22% de amilosa. (Aristazábal & Sánchez, 2007)

2.2.2.2. Propiedades del almidón

La estructura y así como la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel importante en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Tabla 3: Propiedades de los componentes del almidón

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de la cadena	Aprox. 1 000	20-25
Peso molecular	40 000 hasta 10 ⁶	200 000 hasta 10 ⁹
Grado de polimerización	Aprox. 1 000	10 000–100 000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrógrada	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad
Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Patrón de rayos X	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la β-amilasa	Casi completa	Cerca de 60 %
Reacción con yodo	19-20 %	5-9 %
Color con la solución de yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima (nm)	Aprox. 660	530-550

Fuente: (Aristazábal & Sánchez, 2007)

2.2.2.3. Propiedades fisicoquímicas del almidón

Entre las propiedades fisicoquímicas más importantes esta la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del granulo (tamaño, color, forma y naturaleza cristalina), peso molecular y contenido de amilosa. (Pardo, Castañeda, & Ortiz, 2013).

El contenido de proteínas del almidón de yuca y papa es bajo, cerca del 0,1%, comparado con el de los almidones de arroz y de maíz (0,35 y 0,45%,

respectivamente). La proteína residual es la que afecta al sabor y olor de los almidones de cereales y tienden a producir espuma. (Hernandez Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

Tabla 4: Características de los gránulos de almidón

Almidón	Tipo	Morfología	Diámetro (µm)	Contenido de amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Temperatura de gelificación (°C)	Propiedades de cocción
Maiz	Cereal	Redondo poligonal	5-30	25	62-72	80	Gel opaco
Maiz ceroso	Cereal	Redondo poligonal	5-30	<1	63-72	74	Claro cohesivo
Yuca	Raíz	Ovalado truncado	4-35	17	62-73	63	Claro cohesivo tendencia a gelificar
Papa	Tubérculo	Ovalado esférico	5-100	20	59-68	64	Claro cohesivo tendencia a gelificar
Trigo	Cereal	Redondo lenticular	1-45	25	58-64	77	Gel opaco
Arroz	Cereal	Esférico poligonal	3-8	19	68-78	81	Gel opaco
Sago	Tronco	Ovalado truncado	15-65	26	69-74	74	Gel opaco

Fuente: (Aristazábal & Sánchez, 2007)

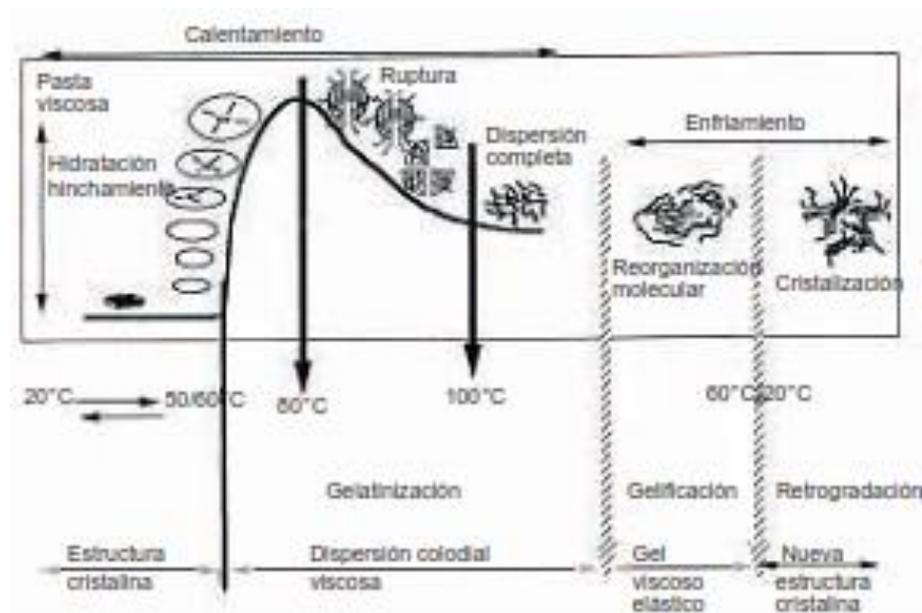
Los gránulos de almidón de yuca y papa poseen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con almidones de cereales, esta composición también favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo de amilosa, la cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilidad de los gránulos de almidón. La presencia de sustancias grasas puede llegar a crear problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento de los granos. (Aristazábal & Sánchez, 2007).

2.2.2.4. Propiedades funcionales del almidón

Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina. En los distintos cultivos amiláceos esta relación es constante, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también entre plantas de la misma variedad. (Hernandez Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

Durante un tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que van a influir sobre su estructura, pasando por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación, los cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de almidón. (Aristazábal & Sánchez, 2007).

Figura 5. Representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el tratamiento hidrotérmico



Fuente: (Aristazábal & Sánchez, 2007)

2.2.3. Campos Eléctricos Pulsantes de Alta Intensidad (CEPAI)

Los CEPAI constituyen una de las tecnologías más prometedoras para la conservación de los alimentos. La pasteurización con CEPAI involucra la utilización de pulsos eléctricos de alto voltaje en el alimento colocado entre dos electrodos.

Esta tecnología es considerada superior al tratamiento térmico convencional, debido a que reduce grandemente los cambios que ocurren en las propiedades sensoriales (sabor, color), y físicas (textura, viscosidad) de los alimentos. (Quass, 1997).

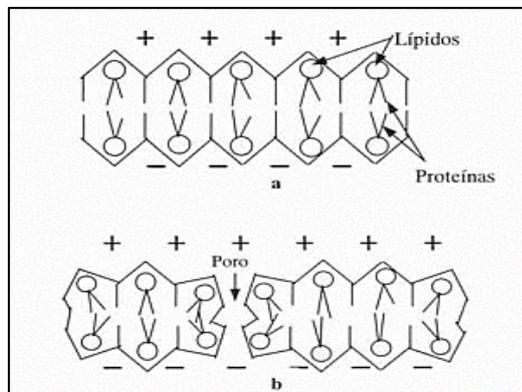
2.2.3.1. Mecanismos de Inactivación Microbiológica por medio de Campos Eléctricos Pulsantes de Alta Intensidad

Se han propuesto varias teorías para explicar la inactivación de los microorganismos con CEPAL. Las más estudiadas son la ruptura dieléctrica y la electroporación o desprendimiento de las membranas celulares. (Zimmermann & Benz, 1980)

2.2.3.1.1. Electroporación

Es un fenómeno que desestabiliza temporalmente la capa lipídica y las proteínas de la membrana celular, al ser sometidas a campos eléctricos pulsantes de alto voltaje.

Figura 6. A) Fragmento de la membrana celular. B) Membrana celular bajo un campo eléctrico



Fuente: (Calderon, San Martin-Gonzalez, Barbosa-Cánovas, & Swanson, 1998)

Esto puede ser reversible o irreversible dependiendo de la intensidad del campo eléctrico aplicado. La electroporación provoca cambios en las funciones de la membrana celular, así como rompimiento de la célula microbiana por lo que se inactiva el microorganismo como muestra en la figura 6. (Ho, Mittal, Cross, & Griffithis, 1995)

La inactivación microbiana usando CEPAL, reportada por varios investigadores se resumen en la tabla #5 donde puede encontrarse información detallada sobre los tratamientos aplicados y los resultados obtenidos.

Tabla 5: Resumen de inactivaciones microbiológicas mediante el uso de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad

Referencias	Microorganismos e Inoculación inicial	Medio de suspensión	Reducción logarítmica (ufc/mL)	Temperatura °C	Campo eléctrico (kV/cm)	Tiempo (µs)	Número de pulsos
Martín y col., 1997	E. coli (10 ⁹ cfu/ml)	Leche Descremada	1-3	15	20-45	0,7-1,8	64
Márquez y col., 1997	B. subtilis 3x10 ⁸ spores/ml	0,15% NaCl	3.425	25	50	2-3	30
	B. cereus 10 ⁶ spores/ml	0,15% NaCl	5	25	50	5-6	50
Zhang y col., 1995	E. coli (10 ⁹ cfu/ml)	Leche Modificada	9	20	70	160	80
Hülshegher y col., 1983	E. coli	Buffer Fosfato	4	20	20	1,080	30
Grahl y col., 1993	E. coli (10 ⁷)	Leche	3	—	22	200	5
Pagán y col., 1997	B. subtilis	Leche Modificada	5	60	60 + HHP*	—	75
Pothakamury y col., 1995	E. coli	Leche Modificada	3-4	37	16	200-300	60
	S. aureus		2	37	16	200-300	60
Pothakamury et al., 1995b	B. subtilis, and L. delbrueckii	Leche Modificada	4-5	30	16	200-300	40-50
Vega-Mercado y col., 1996	E. coli (10 ⁷)	Leche Modificada	2,2	10	40-50	—	8
Qin y col., 1988	S. cerevisiae	Jugo de Manzana	>6	>40	36	—	—
Raso y col., 1988	Zygosaccharomyces bailii	Jugos de naranja, uva, fresas	5	20	32-36,5	2-3,5	—
Keith y col., 1997	Microorganismos	Especias	1	—	20-80	1-99	11-28
Sensoy y col., 1997	Salmonella dublin (10 ⁶)	Leche descremada, KCl	3	10-50	15-40	12-127	—

Fuente: (Calderon, San Martin-Gonzalez, Barbosa-Cánovas, & Swanson, 1998)

2.2.4. Películas comestibles

Las películas comestibles según por (Bozquez, 2000) “son fabricadas a base de polímeros naturales, de composición heterogénea que pueden ser ingeridos sin riesgo para el consumidor y que aportan nutrientes como las proteínas, almidón, ceras, alginatos, lípidos, gomas y mezclas de cualquiera de los grupos mencionados”.

Una manera de definir las películas comestibles está dada por (Kowalczyk & Baraniak, 2011) quien las define como: “Una capa delgada de polímero que puede ser consumida y empleada en la superficie de un alimento, que puede aplicarse como capas continuas entre los diferentes componentes o utilizarse como cubierta durante su elaboración”. Por ello estas, son utilizadas para alargar la vida útil de los alimentos actuando como barrera selectiva contra los gases y la humedad (Montalvo, López Malo, & Palou, 2012).

2.2.4.1. Funciones de las películas comestibles

Según (Fama, 2003) estas películas no están diseñadas para reemplazar los materiales de empaques sintéticos ni películas no comestibles ya que su importancia recae en la capacidad como conjunto de mejorar la calidad del alimento en general, así como de extender su tiempo de vida de anaquel y la eficiencia económica de los materiales para empaquetamiento. Las principales funciones de las películas comestibles se detallan a continuación:

Tabla 6: *Funciones de las películas comestibles*

Reducir la pérdida de humedad
Reducir el transporte de Gases (CO ₂ y O ₂)
Reducir la migración de aceites y grasas
Mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos
Proveer integridad estructural a los alimentos
Contener aditivos
Reducir el transporte de solutos

Fuente: (Bozquez, 2000)

2.2.4.2. Requisitos y ventajas de las películas comestibles

Debido a que las películas comestibles son tanto componentes del alimento como empaques del mismo, según (Martínez, 1997) generan las siguientes ventajas de su uso, así como los siguientes requisitos también:

Tabla 7: Requisitos y ventajas del uso de películas comestibles

REQUISITOS	VENTAJAS
Buenas cualidades sensoriales y seguros para la salud.	Pueden ser ingeridos por el consumidor
Alta eficiencia mecánica y de barrera.	Su costo es generalmente bajo
Deben estar libres de contaminantes.	Su uso reduce los desechos y la contaminación ambiental
De tecnología simple.	Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos.
De bajo costo tanto de materiales como de procesos.	Proporcionan protección individual a pequeñas piezas o porciones de alimentos.
Tener estabilidad bioquímica, físico-química y microbiana.	Pueden ser usados en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes.

Fuente: (Martínez, 1997)

2.2.4.3. Componentes de películas comestibles

Las películas comestibles de acuerdo a (Fama, 2003) están conformadas por polisacáridos, proteínas y lípidos, dentro de los cuales hay una gran diversidad de componentes que pueden ser usados en su elaboración.

2.2.4.3.1. Polisacáridos.

De acuerdo con (Hoyos, 2001), los polisacáridos más utilizados para la elaboración de recubrimientos son:

- Almidón
- Alginatos
- Carragenatos
- Pectinas
- Quitosano
- Celulosa y derivados

En la tabla a continuación se mencionan las principales características de las películas comestibles elaboradas a base de polisacáridos.

Tabla 8: Composición y características de las películas a partir de carbohidratos

Composición		Solubilidad en H ₂ O		Barrera vs H ₂ O	Características
1ra etapa	2da etapa	fría	caliente		
Carboximetilcelulosa		+	-	Suficiente	Flexible, suave, transparente, sin sabor, sin olor, clara
1-3%; agua					
Maltodextrinas		+	+	Pobre	Flexible, suave, transparente, sin sabor, sin olor, clara
3-10%; agua					
Goma arábica		+	+	Pobre	Flexible, suave, transparente, sin sabor, sin olor, clara
20-30% glicerol, 5-10% agua					
Alginato de sodio	CaCl ₂ 4%	-		Pobre	Flexible, suave, transparente, sin sabor, sin olor, clara
2% glicerol, 20% agua	agua				
Alginato de sodio	CaCl ₂ 5%	-		Pobre	Flexible, suave, transparente, sin sabor, sin olor, clara
2 - 5% agua	agua				
Películas multicomponente		+	+	Buena	Poco flexible, suave, opaca olor y sabor a cera
A(20%) en B(80%)					
A: cera carauba	20%				

Fuente: (Evans, 2001)

2.2.4.3.2. Proteínas

Según (Robert, 2013) las principales proteínas que forman parte de los recubrimientos comestibles son:

- Colágeno
- Gelatina
- Zeína
- Gluten de trigo
- Aislados de proteína de soya
- Proteínas de leche
- Proteínas de suero

Tabla 9: Formulación y características de las películas proteicas

Composición		Solubilidad en H ₂ O		Barrera vs H ₂ O	Características
1ra etapa	2da etapa	fría	caliente		
Gelatina 20% glicerol; 0-10% agua		-	+	Pobre	Flexible, suave, transparente, sin sabor y sin olor
	CaCl ₂ 20%	-	+	Pobre	Flexible, suave, transparente, ligero sabor a sal
	Ác. Láctico 50%	-	+	Suficiente	Flexible, suave, transparente, resabios ácidos
	Ác. Tánico 20%	-	+	Suficiente	Suave, transparente, color café resabio astringente
Caseína 10%NaOH (pH 8) glicerol 5-10%; agua					Flexible, suave, transparente, ligero sabor a leche
	CaCl ₂ 20%	+	+	Pobre	Flexible, suave, transparente, poco amarga
	Ac. Láctico 30%	-	-	Suficiente	Flexible, opaca, resabios amargos ligeramente rugosa
	Ác. Tánico 20%	+	+	Suficiente	Suave, transparente, color café resabio astringente
Caseína 5%, gelatina 10%;NaOH (pH 8); glicerol 5/10%;agua		-	+	Pobre	Flexible, suave, transparente, Clara
	Ac. Láctico 30%	-	-	Suficiente	Flexible, suave, clara resabios ácidos
	Ác. Tánico 20%	-	+	Suficiente	Suave, transparente, color café resabio astringente
Ovoalbúmina 10%;NaOH(pH 8)		+	-	Pobre	Flexible, suave, transparente, Clara
	CaCl ₂ 20%	+	-	Pobre	Flexible, suave, transparente, color amarillento
	Ac. Láctico 30%	-	-	Suficiente	Flexible, suave, transparente,

Fuente: (Robert, 2013)

2.2.4.3.3. Películas a base de proteína

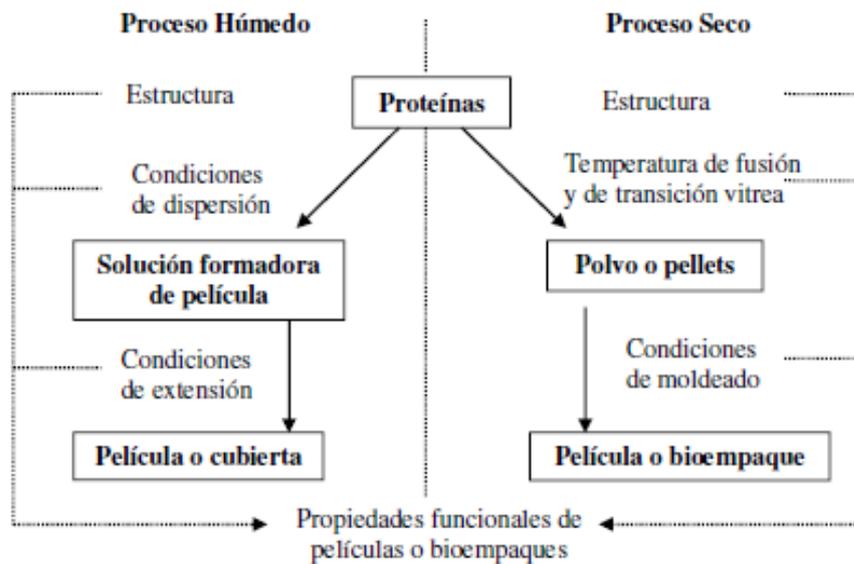
Las proteínas derivadas de la leche, como las del suero y caseína, se han estudiado ampliamente debido a su alto valor nutricional. La caseína se utiliza para obtener películas a partir de soluciones acuosas debido a su habilidad para formar enlaces intermoleculares (hidrógeno, electrostáticos e hidrofóbicos), que incrementan la cohesión del polímero. (Becerra Lopez & Paz Rueda, 2009).

La formación de una red macromolecular de proteína requiere de tres pasos: 1) ruptura de enlaces intermoleculares de baja energía que estabilicen a los polímeros en el estado nativo, 2) arreglo y orientación de las cadenas poliméricas y 3) formación de una red tridimensional que se estabilice por la formación de nuevos enlaces.

(Cuq et al., 1998).

Hay dos tecnologías que se utilizan comúnmente para preparar películas: el proceso húmedo y el proceso seco (Fig.7) Para la formación de películas de proteínas puede utilizarse cualquiera de los dos procesos, ya que el método húmedo tiene una buena efectividad y bajo costo, aunque el método seco es más rápido y puede requerir menos energía.

Figura 7. Representación esquemática de los procesos tecnológicos utilizados para obtener películas comestibles de proteínas



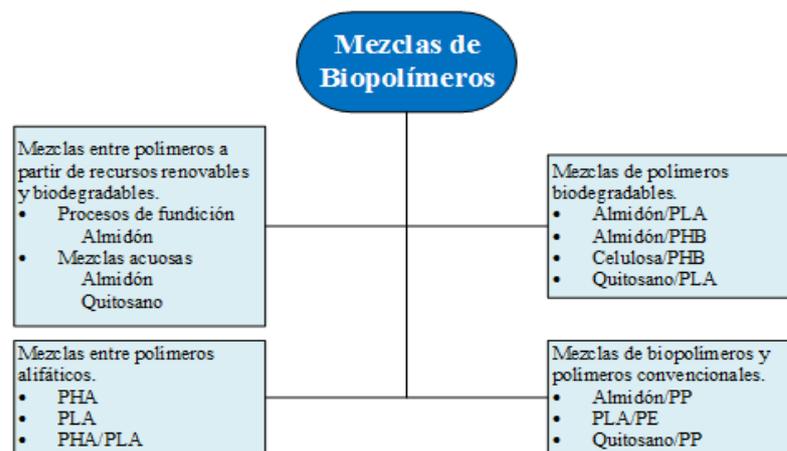
Fuente: (Cup, Gontard, & Guilbet, 1998)

El proceso húmedo se basa en la dispersión o solubilización de las proteínas en un solvente y su posterior eliminación para dar lugar a la formación de la película. En cambio, el proceso seco se basa en las propiedades termoplásticas de la proteína en condiciones de humedad baja, donde generalmente se realiza por un prensado térmico o moldeado por compresión del polímero. Se deben alcanzar temperaturas por arriba de su punto de fusión y de la transición vítrea de la proteína. (Guerrero Anaya, 2014)

2.2.4.4. Mezclas

La mezcla de polímeros sintéticos y biopolímeros producen mejoras en materiales que poseen las propiedades para aumentar la biocompatibilidad y la biodegradabilidad, mientras se mantienen las propiedades térmicas y mecánicas reduciendo sus costos. (Katarzyna & Lewandowicz, 2010)

Figura 8. Clasificación de la mezcla de polímeros con recursos renovables y biodegradables



Fuente: (Rodríguez Sepúlveda & Orrego Alzate, 2016)

2.2.4.4.1. Mezclas de polímeros naturales

La mezcla de polímeros es una técnica bien utilizada siempre que se requiera la modificación de propiedades, porque utiliza la tecnología convencional a bajo costo. El objetivo habitual de preparar una nueva mezcla de dos o más polímeros no debe cambiar los componentes de forma drástica, sino para capitalizar el máximo rendimiento posible de la mezcla. (Yua, Dean, & Li, 2006)

Dado que la mayoría de los polímeros naturales son solubles en agua, se ha utilizado el agua como disolvente, medio de dispersión y plastificante en el procesamiento de mezclas de polímeros naturales. (Matveev, Grinberg, & Tolstoguzov, 2000)

El almidón es uno de los productos naturales debido a su biodegradabilidad inherente, sin embargo, por sí solo el almidón puro no es una buena elección para reemplazar los plásticos petroquímicos. Es principalmente soluble en agua, difícil de procesar y quebradizo cuando se usa sin la adición de un plastificante. El caucho natural ha sido mezclado con almidón para un número de aplicaciones diferentes.

(Arvanitoyannis et al., 1998), "informaron de mezclas biodegradables basados sobre almidón gelatinizado y 1,4-transpolisopreno (gutta percha) para embalaje de alimentos o aplicaciones".

(Kokini, y otros, 1990.), estudiaron la conversión del almidón y proteína, durante el procesamiento se estableció un modelo cinético para la gelatinización y el efecto de las interacciones entre almidón y proteína.

(Matveev, Grinberg, & Tolstoguzov, 2000), estudiaron el efecto del agua sobre la transición vítrea de proteínas, polisacáridos y mezclas, considerando el hidrógeno inter-macromolecular y dipolo-dipolo.

(Pereira, Cunha, Reis, & Vazquez, 1998), informaron de hidrogeles biodegradables, a base de almidón de maíz / mezclas de acetato de celulosa, producidas por radicales libres, polimerización con metacrilato de metilo y / o un monómero de ácido acrílico. Utilizando el carácter biodegradable de mezclas basadas en almidón, con la bioestabilidad de los polímeros acrílicos poli-metacrilato de metilo (PMMA) y poli (ácido acrílico).

(Ke & Sun, 2001) Caracterizaban mezclas de almidón y PLA en presencia de diversos contenidos de agua. Se pudo determinar que el contenido de humedad inicial del almidón no tuvo un efecto significativo en sus propiedades mecánicas, pero tuvo un efecto significativo sobre la absorción de agua de las mezclas.

2.2.4.5. Propiedades y formación de las películas comestibles

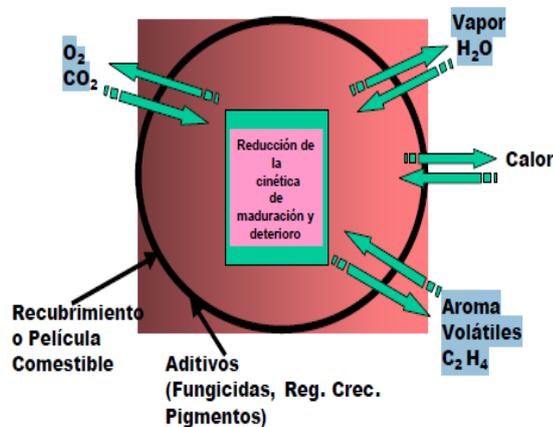
La elaboración de las películas comestibles es muy extensa, puesto que no se elaboran de la misma manera, lo cual representa un gran reto para el desarrollo de recubrimientos y películas específicas para cada alimento.

En casos como las frutas y hortalizas para consumo en fresco, “los recubrimientos comestibles proporcionan una cubierta protectora adicional cuyo impacto tecnológico es equivalente al de una atmósfera modificada, por lo tanto representan una alternativa a este tipo de almacenamiento ya que es posible reducir la cinética de los cambios de calidad y pérdidas en cantidades a través de la modificación y control de la atmósfera interna en estos productos vegetales”. (Gennadios, 2000).

Según (Wong, 2000), las películas comestibles pueden emplearse como barrera a gases y vapor de agua.

Para este propósito se aplican sobre la superficie de alimentos, como es el caso del recubrimiento de frutas y hortalizas frescas, en donde la función primordial es la de restringir la pérdida de humedad de la fruta hacia el ambiente y reducir la absorción de oxígeno por la fruta para disminuir la tasa de la actividad respiratoria.

Figura 9. *Funciones selectivas y activas de películas y recubrimientos*



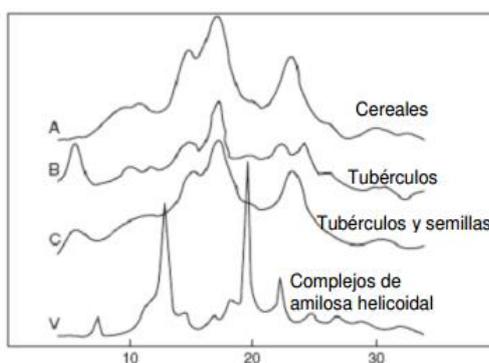
Fuente: (Gennadios, 2000)

2.2.4.6. Propiedades físicas

2.2.4.6.1. Cristalinidad

La estructura cristalina de las películas de almidón puede ser identificada a través de su patrón de difracción de rayos X. La figura a continuación muestra los cuatro principales tipos de patrones de difracción de los almidones nativos: A, B, C y V. (Liu, 2005).

Figura 10. Patrones de difracción A, B, C y de los almidones nativos



Fuente: (Liu, 2005)

La cristalinidad de las películas de almidón depende del tipo de almidón y de las condiciones de transformación, tales como las condiciones de secado (velocidad y temperatura), del contenido de humedad de las películas y temperatura de almacenamiento (Espezua & Ponce, 2014)

Se ha estudiado el efecto de distintas condiciones en la cristalinidad. El aumento en contenido de agua, aumenta el grado de cristalinidad y la cinética de la cristalización, mientras que un mayor contenido de glicerol ralentiza la cinética de la cristalización. (Flores, 2004)

2.2.4.6.2. Transparencia y opacidad

La apariencia de las películas comestibles depende del hidocoloide utilizado y de los aditivos añadidos. Las películas de almidón puro, sin aditivos, son generalmente incoloras y transparentes. Estudios realizados por (Sánchez Villanueva, Fabra

Rovina, & Talens Oliag, 2010), sobre el efecto antioxidante del ácido ferúlico y vitamina E en películas a base de caseinato sódico, mostraron que la presencia de ácido ferúlico, implica una mayor opacidad y menor brillo con respecto al film control, consecuencia de una estructura más rugosa que da lugar a una mayor dispersión de luz. La vitamina E ejerce un efecto contrario, a mayor concentración de vitamina E, menor rugosidad y mayor transparencia y brillo.

2.2.4.6.3. Solubilidad

La solubilidad es la medida o magnitud que indica la cantidad máxima de soluto que puede disolverse en una cantidad determinada de solvente, a una temperatura dada.

Esta propiedad es de gran importancia para determinar la funcionalidad de la película comestible. La resistencia al agua de películas comestibles portadoras de antimicrobianos es deseable para mantener la integridad de la película si la misma debe utilizarse para la conservación de alimentos de humedad intermedia a alta.

(Fama, 2003), estudió la influencia del agregado de polvo de ajo en recubrimientos biodegradables a base de almidón de mandioca, observando que el agregado de ajo modifica las propiedades fisicoquímicas de las películas, conduciendo a aumento en la permeabilidad al vapor de agua y solubilidad en agua, sin que se obtenga diferencias significativas en el contenido de humedad.

2.2.4.7. Propiedades mecánicas

Las películas de almidón se caracterizan a menudo a través de ensayos de tracción, de los cuales se obtienen distintas propiedades mecánicas como el esfuerzo tensil de la película, su deformación, el módulo elástico. (Guerra & Vallejo, 2005). El valor de deformación representa la flexibilidad de la película y se define como el porcentaje

del cambio en la longitud de la muestra respecto a la longitud libre original. Estas propiedades se evalúan de acuerdo a lo sugerido por la norma ASTM D882 -91.

Durante los últimos años, se ha estudiado ampliamente, el efecto de los plastificantes en las propiedades mecánicas de películas preparadas a partir de almidón, amilosa, amilopectina y mezclas de almidones y otros biopolímeros. Por lo general, la presencia de plastificantes aumenta los valores de deformación y disminuye el esfuerzo y el módulo elástico. Esto se debe a que los plastificantes pueden aumentar el volumen libre en la fase amorfa y reducen la interacción entre las cadenas de almidón del polímero.

A continuación, se mencionarán algunas de las propiedades mecánicas que se suelen tomar en cuenta.

2.2.4.7.1. Tracción

La tenacidad o resistencia a la tracción es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas. El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente; elongación o extensión. Es el máximo esfuerzo de tracción a que un material puede estar sujeto antes de su rotura. (Espezua & Ponce, 2014).

2.2.4.7.2. Permeabilidad

La permeabilidad de vapor de agua es una medida de la facilidad con que un material puede ser penetrado por vapor de agua. La norma ASTM E96-00 define a la

permeabilidad como la tasa de transmisión de vapor de agua a través de una unidad de área de material plano con espesor inducido por una diferencia de presión de vapor entre dos superficies específicas, bajo condiciones de humedad y temperatura definidas.

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) es una de las propiedades más importantes en el desempeño como barrera de las películas biopoliméricas. Indica la capacidad de las películas para el control del transporte de vapor de agua entre un sistema alimenticio y sus alrededores.

En general, las películas de polisacáridos no es buena barrera al vapor de agua, pues las moléculas de agua interactúan con los grupos hidroxilo de los biopolímeros, afectando la PVA. Además, el espesor de las películas hidrofílicas se incrementa con la sorción de agua, afectando la determinación de la PVA. (Gennadios, et al., 1994).

2.2.4.7.3. Biodegradación

La biodegradación hace referencia a la transformación y deterioro que se produce en el polímero plástico debido a la acción de enzimas y/o microorganismos como bacterias, hongos y algas; esta es la principal ventaja que permite que los biopolímeros puedan competir con otros materiales como el vidrio y los metales.

Para que los materiales poliméricos sean considerados biodegradables, es indispensable que contengan en la cadena principal grupos que se puedan romper con facilidad por la acción de agentes externos de la naturaleza física o química. La biodegradación puede ser parcial o total.

Existen diferentes métodos para medir la biodegradabilidad de un biopolímero, pero la exposición en el suelo se describe como una forma deseable para probar la mayoría

de los plásticos a base de almidón debido a su similitud con las condiciones que se encuentran los basureros. (Arevalo, 1996).

Estudios sobre la biodegradación en plásticos con polietileno y almidón dentro de pilas activas de composteo establecen que las condiciones de estrés oxidativas, así como la gran variedad de poblaciones microbianas hacen del sistema de composta un ecosistema útil para el ataque de sustancias difíciles de degradar en otros ecosistemas. (Cuichan Guanoluisa, 2015).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Almidón de Yuca: Polvo fino que se obtiene a través de la molienda de la yuca, tubérculo originario de Brasil y muy presente en otras zonas tropicales y subtropicales. Existen dos tipos: el almidón de yuca dulce y el agrio. Este último ha sido fermentado y secado antes de su comercialización.

Los contenidos de amilosa en los almidones de yuca son diferentes según lo reportado por algunos autores: 23%, 19.8%, 17%. Estas diferencias se pueden explicar por las distintas condiciones de crecimiento, el método de extracción de lípidos y el método para determinar el contenido de amilosa. (Mali, et al., 2002)

Caseína: La caseína se define como un grupo de proteínas (α - caseína, β -caseína, μ caseína y κ - caseína), que son dominantes en la composición de la leche. Estas proteínas se producen o se obtienen por medio de la precipitación ácida o enzimática. (Becerra, et al., 2009)

Pulso Eléctrico: Son un tratamiento no térmico para la conservación de alimentos en el cual se coloca un alimento fluido, semifluido o sólido en una solución electrolítica entre dos electrodos por periodos cortos de tiempo (menos de un segundo) y se aplica a un determinado número de pulsos de alto voltaje que van de

20 a 80 kV/cm para la inactivación de microorganismos, de 2.5 a 90 kV/cm para la inactivación de enzimas y de 0.5 a 1 kV/cm. (Ho et al., 1997)

Biopolímero: Es una sustancia creada por un organismo vivo o una sustancia que está en contacto con un organismo vivo.

Son macromoléculas formadas por la unión covalente de pequeñas unidades moleculares llamadas meros, que han sido obtenidos mediante un proceso de polimerización a partir de moléculas más pequeñas denominadas monómeros.

2.4. MARCO LEGAL

Ley de Gestión Ambiental 11/1997 del Gobierno de España, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases Art 1: Esta Ley tiene por objeto prevenir y reducir el impacto sobre el medio ambiente de los envases y la gestión de los residuos de envases a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para alcanzar los anteriores objetivos se establecen medidas destinadas, como primera prioridad, a la prevención de la producción de residuos de envases, y en segundo lugar, a la reutilización de los envases, al reciclado y demás formas de valorización de residuos de envases, con la finalidad de evitar o reducir su eliminación.

Ley de Gestión Ambiental 11/1997 del Gobierno de España, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases Art 3: Dentro de sus respectivos ámbitos de competencias, la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas, previa consulta con los agentes económicos, adoptarán las medidas oportunas, especialmente relativas al diseño y proceso de fabricación de los envases, con la finalidad de minimizar y prevenir en origen la producción de residuos de envases. Las medidas a adoptar podrán incluir actuaciones de investigación y desarrollo,

tendientes a fomentar la prevención. Dentro de sus respectivos ámbitos de competencias, la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas, previa consulta con los agentes económicos, adoptarán las medidas oportunas, especialmente relativas al diseño y proceso de fabricación de los envases, con la finalidad de minimizar y prevenir en origen la producción de residuos de envases. Las medidas a adoptar podrán incluir actuaciones de investigación y desarrollo, tendientes a fomentar la prevención.

CAPITULO 3

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACION

El nivel de la presente investigación es de carácter descriptivo, dado a que se detalla cada una de las propiedades y características de las mezclas realizadas para así poder evaluar el rendimiento del biopolímero obtenido.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La investigación planteada en este trabajo de titulación es de tipo experimental y correlacional de variables, debido a que se busca obtener un biopolímero que cumpla con los parámetros establecidos dependiendo de la mezcla de cada componente para así llegar a un proceso óptimo.

3.3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Como primer paso, para la obtención del biopolímero, se realizaron pruebas por medio del uso de cargas eléctricas para obtener la caseína de la leche con diferentes tiempos y un voltaje constante.

En este proceso se busca obtener un producto que ayude a mejorar las propiedades del biopolímero al mezclarlo con otra sustancia para poder mantener las propiedades físicas y mecánicas que este requiere tomando en cuenta que se obtendrán datos como el tiempo, voltaje, temperatura, densidad, tensión y humedad obtenidos en los laboratorios de Física y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

3.4. RECURSOS

3.4.1. *Materia Prima*

3.4.1.1. Agua

Compuesto de características únicas, de gran importancia para la vida, el más abundante para la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural (García, et al., 2001). Usada a nivel mundial principalmente en la agricultura en un 68%, en la industria en un 25%, mientras que para agua potable solo un 7%. (Auge, 2007).

3.4.1.2. Leche de vaca

La leche de vaca es un producto de primera necesidad y de gran demanda debido a su valor nutricional que está reflejado en sus componentes (proteínas grasas vitaminas y minerales) y es considerada como un alimento básico para la población entera. (Agudelo Gómez & Bedoya Mejía, 2005).

3.4.1.3. Almidón de yuca

El almidón puede encontrárselo en la naturaleza como pequeños gránulos depositados en semillas, tubérculos y raíces de distintas plantas, siendo una mezcla de amilosa y amilopectina, cuya proporción es relativa en cualquier almidón al igual que su peso molecular. El almidón de yuca tiene una gama de aplicaciones en la industria de alimentos, papel y cartón, textil, farmacéutica, de adhesivos y otros. (Montoya Henao, 2007).

3.4.1.4. Glicerina

Es un compuesto versátil ya que debido a su combinación única de propiedades físicas y químicas, posee más de 1500 usos finales (Pérez Angueira & Reinaldo, 2014). Se usa como ingrediente o para su transformación en productos cosméticos, artículos de tocador o cuidado personal, medicamentos o productos alimenticios

(Woloj, 2011). Sus características la destacan como un gran componente estable bajo condiciones típicas de almacenamiento, no es irritante, tiene un bajo grado de toxicidad con el medio ambiente, además de ser compatible con muchos productos químicos (Betancourt Aguilar, Prado, Castellanos González, & Campos, 2016).

3.4.1.5. Gelatina

Es un alimento natural y sano con una larga tradición. La proteína pura ofrece un sinnúmero de ventajas hasta el momento insuperables y tiene un papel importante en la moderna industria alimenticia (Gutierrez Lara, 2013). La gelatina es una proteína que se obtiene de materias primas animales que contienen colágeno, siendo este un alimento natural y sano con un excelente poder de gelificar y gracias a sus múltiples capacidades se emplea en los más diversos sectores de la industria (Posada Castro & Alejo Baquero, 2013).

3.4.1.6. Alginato

Los alginatos son polisacáridos y también polímeros que se pueden encontrar en las paredes celulares de las algas pardas y también pueden ser producidas por bacterias no patógenas y fijadores de nitrógeno (Lupo Pasin, 2015). Los alginatos son derivados del ácido algínico, una de las propiedades más importante de los alginatos se encuentra en la capacidad viscosificante y gelificante las cuales resultan atractivas para el mercado (Hernández et al., 2011).

3.4.1.7. Benzoato de sodio

El benzoato de sodio, conocido también como benzoato de sosa, es uno de los conservadores más utilizados en los alimentos, de olor ligero, color blanco de fácil disolución en agua que inhibe la actividad microbiana puesto que actúa sobre el sistema enzimático de los microorganismos como agente micoestático y a nivel de la membrana, acción que ocurre gracias a la forma no disociada de la molécula y a la

facilidad que tiene en ese estado de penetrar a través de la membrana celular (Villada Moreno, 2010).

3.4.2. *Materiales y Equipos*

3.4.2.1. Equipos

- Balanza Analítica
- Voltímetro
- Regulador de voltaje
- Equipo experimental de cargas eléctricas
- Estufa
- Lacticheck
- Hornilla eléctrica

3.4.2.2. Materiales

- Termómetro
- Cajas Petri
- Tiras de pH
- Vasos de precipitación
- Papel filtro
- Masas (25, 50, 100, 200, 500, 2000 gramos)
- Porta masas
- Probeta
- Pinzas
- Agitador

3.5. FORMULACION DE LOS EXPERIMENTOS Y DESCRIPCION DEL PROCESO

3.5.1. *Obtención de película fat y magro de leche*

3.5.1.1. Recepción

La leche cruda se llevó al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química, en donde se tomaron sus parámetros iniciales utilizando el equipo LATICHECK.

3.5.1.2. Electroporación y filtración

Luego de medidos sus parámetros se procede a realizar la electroporación que consiste en usar pulsos eléctricos de alto voltaje para inducir un estado eficaz de poración en una membrana ya que la materia prima contiene microorganismos que podrían ser perjudiciales para la salud y al aplicar este método se logra eliminarlos.

Primero se efectúa una experimentación completamente empírica para comprobar la formación de la película conformada de Fat (grasa) y magro o sólidos no grasos lácteos de leche que contienen proteínas (caseína), carbohidratos (lactosa) y sales minerales (calcio, potasio, hierro, fósforo, magnesio, etc.) utilizando dos recipientes de diferente material como PVC y Nylon, comprobando que el mejor resultado se lo obtuvo con PVC.

Una vez establecido el material, se procedió a incorporar 2 electrodos estos son conectados a un regulador de voltaje, un voltímetro y un temporizador con el que se determinara el tiempo establecido para la experimentación.

Transcurrido el tiempo de la electroporación se procede a filtrar los residuos que quedan en el equipo para así obtener un mejor resultado de la película de fat y magro de leche.

3.5.1.3. Secado de la película

Para el secado de las películas de fat y magro de leche se lo realizó en una estufa a temperatura de 65°C, tomando el peso cada 10 minutos durante las 3 horas de duración del secado, luego del cual quedan completamente secas.

Se utilizaron bandejas de aluminio para evitar la adhesión de las muestras en el recipiente durante el proceso y fueron guardadas en bolsas plásticas hasta ser pesadas en una balanza.

3.5.1.4. Molienda

En este proceso se colocan las películas de leche ya secas en un molino manual totalmente limpio hasta reducir su tamaño.

3.5.1.5. Pesado

El pesado se realiza con la finalidad de recabar datos de la materia prima, luego de tener el producto molido se procede a pesar en una balanza analítica dando como resultado 1 kg de la muestra.

3.5.1.6. Almacenamiento de las muestras

Obtenido el producto final, se procedió a ser guardada en fundas ziploc a temperatura ambiente que esté libre de humedad para que el producto no se contamine. En donde las muestras se mantuvieron almacenadas hasta su utilización para las mezclas correspondientes.

3.5.2. Obtención del biopolímero

3.5.2.1. Mezclado

Previo al mezclado de la materia prima, se procedió hacer diferentes tipos de porcentajes para determinar las cantidades en peso requeridas para cada mezcla, utilizando diferentes aditivos para su elaboración.

Se midieron las cantidades de almidón de yuca y proteína de leche en una balanza analítica con pesos de 20-5, 15-10, 10-15 gr respectivamente para 100 ml de agua, agregando como aditivos glicerina 4 ml, gelatina y alginato de sodio 5 gr para realizar 18 muestras, utilizando como conservante benzoato de sodio.

3.5.2.2. Calentamiento

Luego de realizar la mezcla, se somete a calentamiento a una temperatura de 65-70 °C hasta que gelatinice completamente.

3.5.2.3. Moldeo

Concluido el periodo de calentamiento, se coloca cada una de las experimentaciones en cajas Petri, teniendo 18 muestras en total.

3.5.2.4. Secado

Finalmente, las muestras fueron secadas en una estufa a 45-50°C durante 3 días por 5 horas hasta adquirir un aspecto sólido y poder hacer las pruebas mecánicas respectivas.

3.5.2.5. Almacenamiento

Se almacenan cada una de las muestras de biopolímero obtenido a temperatura ambiente, en un lugar libre de humedad.

3.5.3. Formulación de las muestras del biopolímero

Se realizó diversos ensayos con la finalidad de encontrar la mezcla adecuada empleando diferentes proporciones para su respectiva composición, para lo cual se determinó que la formulación más propicia para los diferentes aditivos fue de 20-5 g y se detalla a continuación:

Muestra 1: 100 ml de Agua destilada + 20 g de almidón + 5 g caseína + 2 g benzoato de sodio + 3 ml de glicerina.

Muestra 2: 100 ml de Agua destilada + 20 g de almidón + 5 g caseína + 2 g benzoato de sodio + 5 g de gelatina.

Muestra 3: 100 ml de Agua destilada + 20 g de almidón + 5 g caseína + 2 g benzoato de sodio + 5 g de Alginato de Sodio.

3.6. INGENIERIA DE PROCESOS

A continuación, se esquematizará los respectivos diagramas de flujo para la obtención de la película de fat y magro de leche, así como para la elaboración del biopolímero.

Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de la obtención de la película de fat y magro de leche.

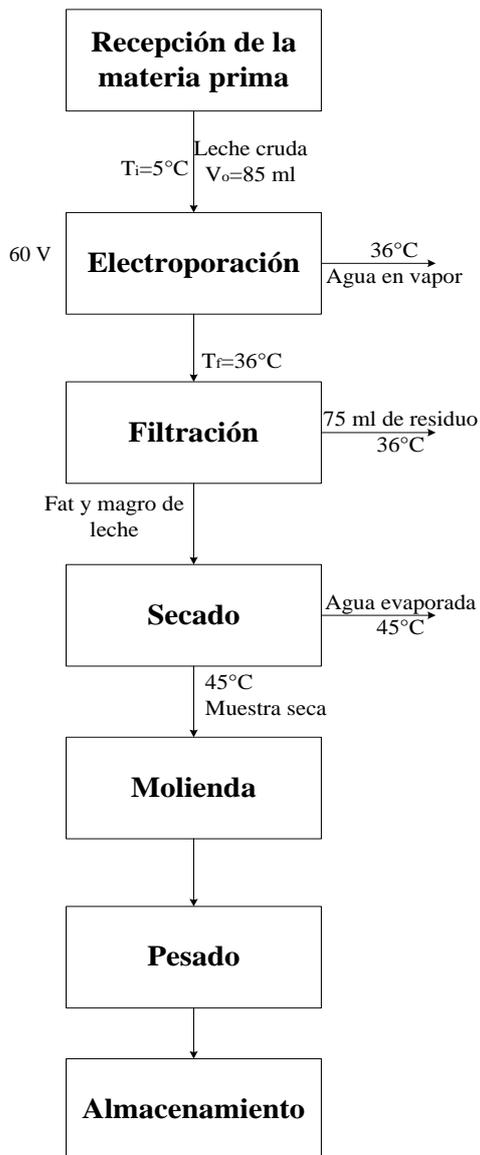
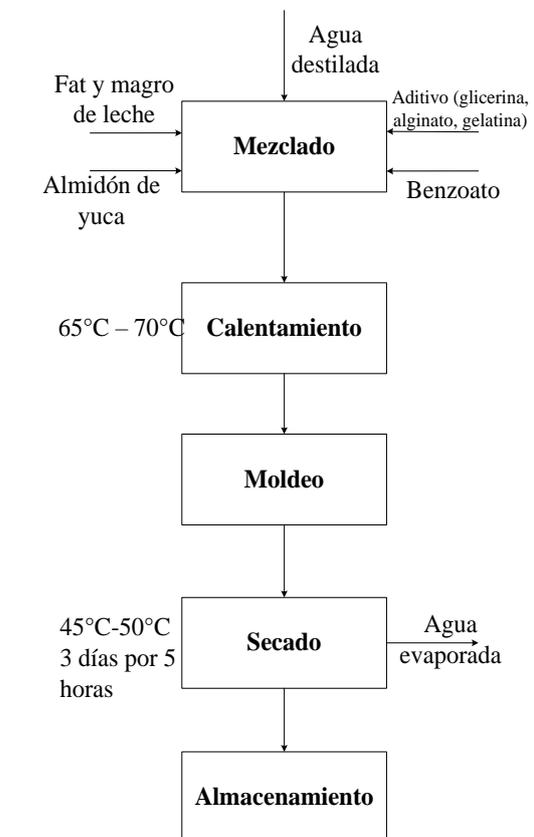


Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de la elaboración del biopolímero



Fuente: (Autores, 2018)

3.7. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

3.7.1. Balance de materia y energía en la obtención de fat y magro de leche

Para realizar el balance de materia durante la obtención de la película de fat y magro de leche se lo realizo en 2 etapas primero el secado y luego la electroporación y filtrado juntos.

Para el secado se utilizó la ecuación: $P = W_2 + S$

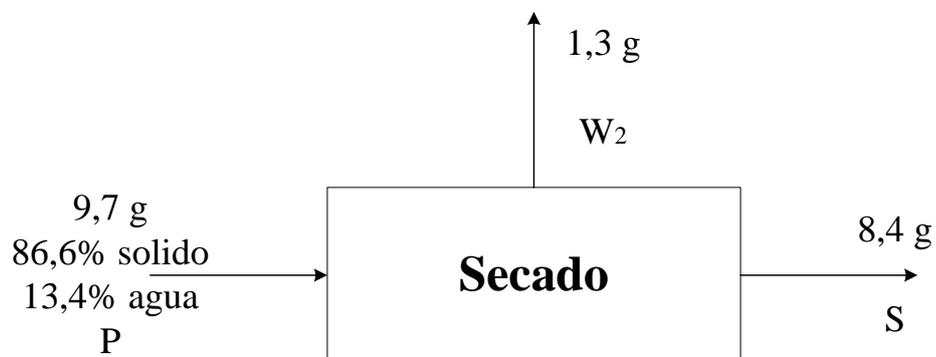
Mientras para la electroporación y filtración es: $F = W_1 + P + D$

Donde:

- W_1 : Salida de Agua en la Electroporación
- P : Producto filtrado
- W_2 : Salida de Agua
- S : Producto Seco
- D : Desechos
- F : Materia Prima

Cálculos de balance de materia en el secado

Figura 13. Diagrama de secado de la película de fat y magro de leche



Fuente: (Autores, 2018)

Tabla 10: Densidad (kg/m^3) de los componentes de la leche en base a la temperatura

<i>Componente</i>	<i>Densidad</i>
<i>Carbohidratos (C)</i>	$1599,1 - 0,31046T$
<i>Proteína (P)</i>	$1329,9 - 0,51814T$
<i>Lípido (L)</i>	$925,59 - 0,41757T$
<i>Minerales y otros (M)</i>	$1867,7 - 0,32326T$

Fuente: (Artica, 2000)

Cálculo de composición del fat y magro.

$$\text{Carbohidrato} = \frac{4,64}{13} \times 100 = 35,69\%$$

$$\text{Proteína} = \frac{3,28}{13} \times 100 = 25,23\%$$

$$\text{Lípidos} = \frac{3,65}{13} \times 100 = 28,08\%$$

$$\text{Minerales} = \frac{1,43}{13} \times 100 = 11\%$$

La humedad del producto seco es bastante baja por ello se asume que $\%H \cong 0$.

Balance de Materia

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$P = W_2 + S$$

$$9,7 = W_2 + 8,4$$

$$W_2 = 9,7 - 8,4$$

$$W_2 = 1,3 \text{ g}$$

Composición de P

$$\text{Agua} = \frac{1,3}{9,7} \times 100 = 13,4\%$$

$$\text{Sólidos} = \frac{8,4}{9,7} \times 100 = 86,6\%$$

Balance de energía.

$$C_p = a + bT + cT^2$$

Tabla 11: Cp de los diferentes componentes de la leche

Componente	a	b × 10 ³	c × 10 ⁶
Agua	4185,8	-	-
Proteínas	2008,2	1208,9	-1312,9
Lípidos	1984,2	1473,3	-4800,8
Carbohidratos	1548,8	1962,5	-5939,9
Minerales y otros	1582,3	1916,3	-4311,7

Fuente: (Artica, 2000)

Los valores de Cp obtenidos de la tabla están en $\frac{J}{kg^{\circ}C}$ ($\div 4185,8$ para obtenerlo en $\frac{cal}{g^{\circ}C}$) y se los trabaja en temperaturas de Celsius.

$$Q_g = Q_p$$

$$Q = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dt$$

$$C_{p(solidos)} = 1790,65 + 1629,92 \times 10^{-3}T - 4273,54 \times 10^{-6}T^2$$

$$m = 9,7 \text{ g}$$

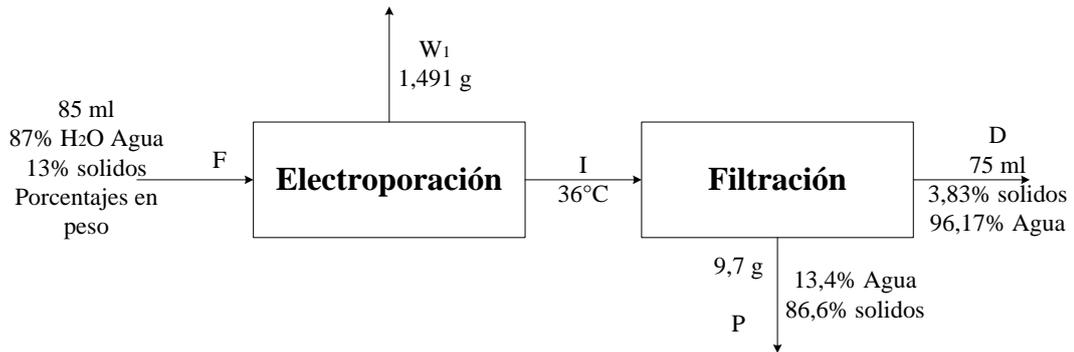
$$T_2 = 45^{\circ}C$$

$$T_1 = 24^{\circ}C$$

$$Q = 9,7 \int_{24}^{45} C_p dt = 9,7g \left(38674,411 \frac{J}{kg} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) \left(\frac{1 \text{ kcal}}{4185,8 \text{ J}} \right) = 0,0896 \text{ kcal}$$

Cálculos de balance de materia y energía en la electroporación y la filtración.

Figura 14. Balance de materia de electroporación y filtración de la leche



Fuente: (Autores, 2018)

Balance de materia

$$\rho_{leche} = 1,02301 \frac{g}{ml}$$

$$\rho_{solido} = 1,3124 \frac{g}{ml}$$

$$\rho_{agua} = 1,0 \frac{g}{ml}$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 1,02301 \frac{g}{ml} \times 85 ml$$

$$m = 86,96 g$$

$$E = S$$

$$F = W_1 + P + D$$

$$86,96 = W_1 + P + D$$

Balance de materia (sólidos)

$$86,96(0,13) = W_1(0) + 9,7(0,866) + D_{solido}$$

$$11,3 = 8,4 + D_{solido}$$

$$D_{solido} = 11,3 - 8,4 = 2,9 g$$

Balance de materia (agua)

$$V_{\text{solido}} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{solido}} = \frac{2,9 \text{ g}}{1,3124 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 2,21 \text{ ml}$$

$$D_{\text{agua}} = D - D_{\text{solido}}$$

$$D_{\text{agua}} = (75 - 2,21) \text{ ml} = 72,79 \text{ ml} = 72,79 \text{ g}$$

$$D_{\text{agua}} = 2,9 + 72,79 = 75,69 \text{ g}$$

$$86,96 = W_1 + 75,69 + 9,7$$

$$W_1 = 1,57 \text{ g}$$

Composición de D

$$D_{\text{solido}} = \frac{2,9}{75,69} = 0,0383$$

$$D_{\text{solido}} = \frac{72,79}{75,69} = 0,9617$$

CAPITULO 4

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1. ANALISIS DE LA COMPOSICION EN LA LECHE

La leche primero es sometida a un análisis para brindarnos un conocimiento previo de su contenido puesto que su composición varía entre razas, como se dio a conocer en el capítulo 2. Este análisis se realiza en el Lacticheck el cual nos proporcionó los siguientes resultados.

Tabla 12: *Composición de la leche en base al Lacticheck*

<i>Componente</i>	<i>Porcentaje</i>
Agua	87*
Agua agregada	0
Proteínas	3,28
Lípidos	3,65
Carbohidratos	4,64*
Minerales y otros	1,43*

Fuente: (Autores, 2018)

*Basado en la tabla 2.

Algunas de las características de la leche poseen diferencias en cuanto a lo investigado debido a que su composición no es fija, aunque se tratase de la misma especie o raza.

4.2. APARIENCIA DE LAS PELICULAS HUMEDAS DE FAT Y MAGRO DE LECHE

Figura 15. Muestras húmedas de las películas de fat y magro de leche



Fuente: (Autores, 2018)

Luego de la electroporación y la filtración se obtuvieron películas en forma de media luna de 6 cm por 2,5-3 cm de diámetro y en ocasiones películas circulares de 6 cm de diámetro. Todas las muestras poseían un color blanco como la leche, aunque también resultaba en ocasiones con una tonalidad ligeramente amarillenta. Eran flexibles y en el caso de su resistencia, bastante baja y fácil de romper, en cuanto al grosor fue notorio que variaba entre muestra y muestra ninguna superó los 5 mm y mayormente eran de 3 mm de grosor, pero también al ser más gruesas se iban tornando más esponjosas y su resistencia era la misma.

En cuanto a su olor era débil, aunque perceptible, similar al queso agrio y su sabor idéntico al de la leche, pero con un toque más rancio.

4.3. APARIENCIA DE LAS PELICULAS SECAS DE FAT Y MAGRO DE LECHE

Figura 16. Muestras secas de las películas de fat y magro de la leche



Fuente: (Autores, 2018)

Después del secado, las películas redujeron muy poco su grosor quedando en su mayoría de casi 2 mm. Su coloración se volvió más amarillenta siendo notoria en todas las muestras y también ligeramente verdoso en los extremos. En comparación con las muestras húmedas, estas perdieron completamente su flexibilidad volviéndose totalmente rígidas, más resistentes, pero también muy quebradizas como los plásticos rígidos.

Una gran diferencia entre las películas húmedas y las secas fue la disminución del olor, puesto que seguía como el del queso agrio, pero mucho menos perceptible al olfato y su sabor casi no tuvo cambio alguno ya que seguía conservando el sabor rancio casi igual que antes del secado.

4.4. COMPARACION DE PELICULAS OBTENIDAS EN MATERIALES DE PVC Y NYLON

Figura 17. Muestras de películas de fat y magro de leche obtenidas en Nylon (izquierda y centro) y PVC (derecha)



Fuente: (Autores, 2018)

Claramente se aprecia la diferencia entre todas las películas obtenidas, en materiales PVC dieron un resultado positivo al formar películas tanto circulares como media luna bien definidas y aunque se podían romper con facilidad tenían cierta resistencia, así como buen aspecto no solo en color, que era blanco amarillento, sino también en el olor, similar al queso agrio; mientras que con Nylon las películas en ocasiones no se formaban y cuando lo hacían su consistencia era similar al de una gelatina con color que pasaba de blanco verdoso a un verde turquesa y una cubierta color mostaza, su resistencia era nula, además de poseer un olor nauseabundo como el un alimento en descomposición con un sabor seguramente igual.

4.5. RENDIMIENTO DE LA FORMACION DE LAS PELICULAS

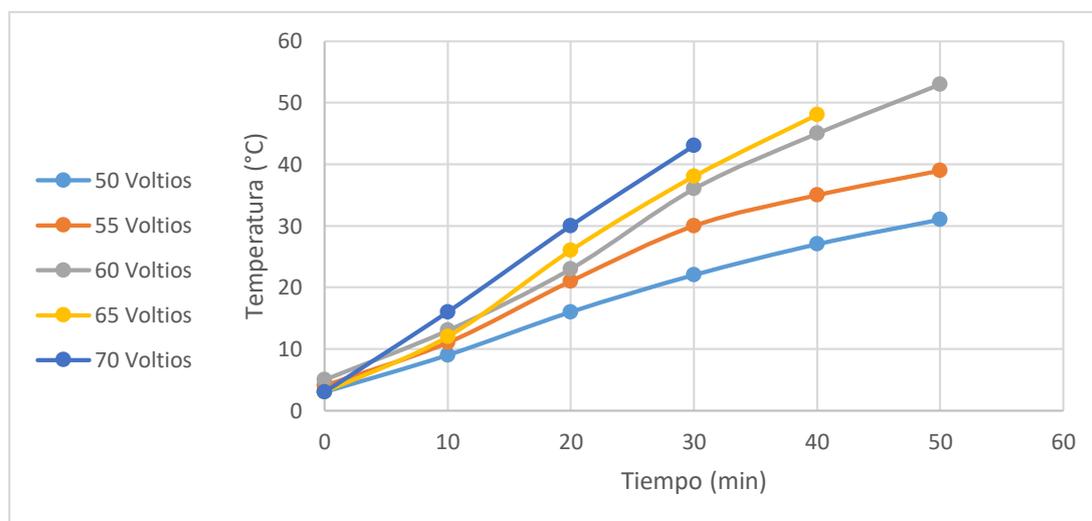
Durante la electroporación, a partir de los 55 voltios se empezó a obtener la película deseada y con un buen aspecto hasta los 65 voltios, ya que por debajo de los 55 voltios la película se forma levemente o no se forma, mientras que de los 70 voltios en adelante la película se forma, pero rápidamente empieza a calcinarse, incluso antes de que esté completamente formada.

Tabla 13: Cambios de temperatura (°C) al obtener la película de fat y magro de leche

Tiempo Voltaje	0	10	20	30	40	50
50	3	9	16	22	27	31
55	4	11	21	30	35	39
60	5	13	23	36	45	53
65	3	13	26	38	48	-
70	3	16	30	43	-	-

Fuente: (Autores, 2018)

Gráfica 1. Variaciones de temperatura en la obtención de la película



Fuente: (Peralta & Bustamante, 2018)

Tabla 14: Tiempo máximo para alcanzar una temperatura constante

<i>Voltaje</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
50	80	36
55	95	45
60	115	77
65	125	88
70	140	106

Fuente: (Autores, 2018)

Los valores obtenidos son un promedio de 10 muestras sometidas a la electroporción para cada tiempo y voltaje indicado en ellas. Adicional a esto se realizó una prueba para determinar el tiempo que le tomaría alcanzar una temperatura constante con estos voltajes.

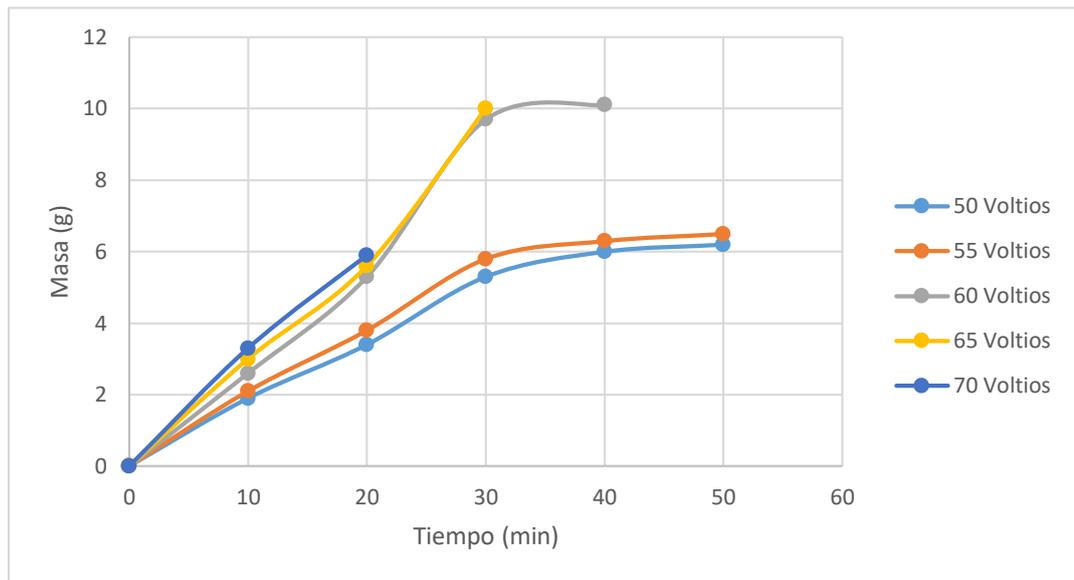
Durante la electroporción quedan 2 productos, uno es la película que se deseaba obtener y otro, un líquido residual constituido casi en su totalidad de agua y con cierta cantidad de fat y magro visible suspendido en el líquido y otra fracción más pequeña que se mantiene diluída.

Tabla 15: Masa (gr) obtenida de la película de fat y magro de la leche

<i>Tiempo</i> <i>Voltaje</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>
50	1,9	3,4	5,3	6	6,2
55	2,1	3,8	5,9	6,3	6,5
60	2,6	5,3	9,7	10,1	-
65	3	5,6	10	-	-
70	3,3	5,9	-	-	-

Fuente: (Autores, 2018)

Gráfica 2. Masa (gr) de película obtenida en la leche



Fuente: (Autores, 2018)

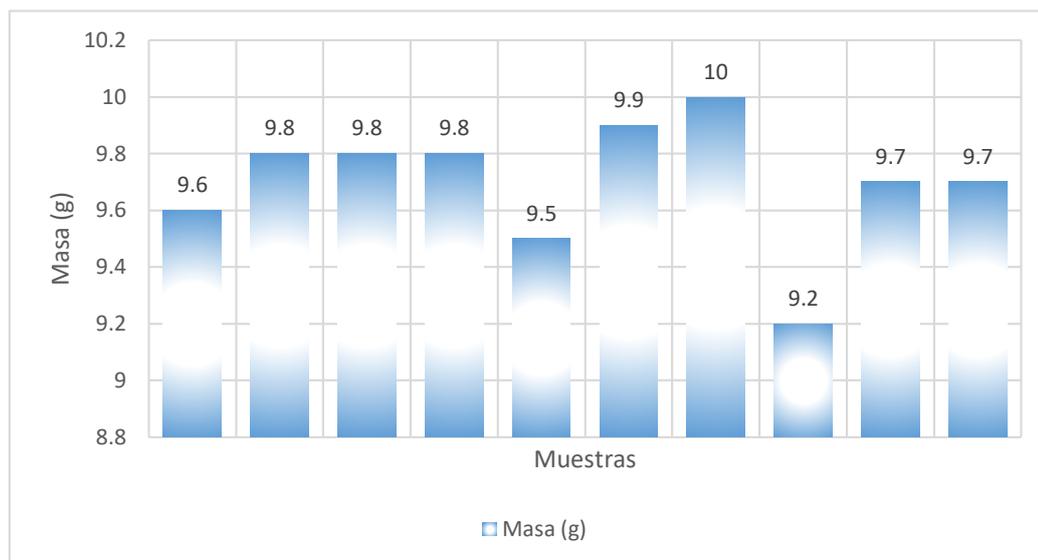
Al dar mejor resultado en películas durante 30 minutos a 60 voltios en la tabla siguiente se muestra las diferencias de pesos que poseen las películas aplicándoles el mismo tiempo y voltaje.

Tabla 16: Diferencias de peso en películas obtenidas en el mismo tiempo (30 min) y voltaje (60 V)

Muestra	Peso (gramo)
1	9,6
2	9,8
3	9,8
4	9,8
5	9,5
6	9,9
7	10
8	9,2
9	9,7
10	9,7

Fuente: (Autores, 2018)

Gráfica 3. Diferencias de pesos en películas aplicando el mismo tiempo (30 min) y voltaje (60 V)



Fuente: (Autores, 2018)

4.6. ANALISIS DE LA FORMULACION DEL BIOPOLIMERO

Para determinar cuál fue la mejor mezcla de biopolímero requerido se sacaron diferentes porcentajes en peso de cada componente utilizando diferentes aditivos para mejorar su resistencia como lo indica la tabla 17 y 18:

Tabla 17: Formulación para biopolímero en relación almidón/sólidos de leche (con glicerina)

Componente	20/5		15/10		10/15	
	Peso	Porcentaje	Peso	Porcentaje	Peso	Porcentaje
Agua	100	76,5	100	76,5	100	76,5
Leche	5	3,8	10	7,6	15	11,5
Almidón	20	15,3	15	11,5	10	7,6
Glicerina	3,78	2,9	3,78	2,9	3,78	2,9
Benzoato	2	1,5	2	1,5	2	1,5
Total	130,78	100	130,78	100	130,78	100

Fuente: (Autores, 2018)

Tabla 18: Formulación para biopolímero en relación almidón/sólidos de leche (con gelatina o alginato)

Componente	20/5		15/10		10/15	
	Peso	Porcentaje	Peso	Porcentaje	Peso	Porcentaje
<i>Agua</i>	100	75,8	100	75,8	100	75,8
<i>Leche</i>	5	3,8	10	7,5	15	11,4
<i>Almidón</i>	20	15,1	15	11,4	10	7,5
<i>Alginato o Gelatina</i>	5	3,8	5	3,8	5	3,8
<i>Benzoato</i>	2	1,5	2	1,5	2	1,5
Total	132	100	132	100	132	100

Fuente: (Autores, 2018)

4.7. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL BIOPOLIMERO

4.7.1. Tensión

En las diferentes mezclas que se realizaron, variando la proporción de almidón y caseína agregando diferentes aditivos para mejorar su resistencia, se pudo determinar cuánto tarda el plástico en romperse al aplicar peso, utilizando como guía la Norma ASTM D882 para las dimensiones de las muestras.

Tabla 19: Cantidad en peso de fuerza de tensión mezcla almidón-caseína

Biopolímero	20/5	15/10	10/15
Glicerina	2150 g	1650 g	1200 g
Gelatina	4100 g	2700 g	1750 g
Alginato	4500 g	2900 g	1900 g

Fuente: (Autores, 2018)

Dando como resultado que las películas hechas a base de gelatina y alginato poseen mejor resistencia que las de glicerina ya que se tuvo que aplicar mucho más peso para que se rompiera.

4.7.2. Densidad

Para determinar la densidad del biopolímero se utilizó como guía la tesis (Rosales, 2016) la cual nos indica que se toma una muestra del biopolímero y se pesa, para luego medir en una probeta 50 ml de agua.

Luego se introduce la muestra del biopolímero plástico hasta que quede completamente sumergido. Se registra cuanto sube el nivel del agua y este es el volumen del plástico en cm^3

En la tabla 20 se puede observar la variación de la densidad de cada mezcla dependiendo de las proporciones utilizadas. A pesar de la diferencia de masas que hay entre las películas, las mezclas con alginato y gelatina tienen valores muy cercanos ya que tienen mayor resistencia y peso a diferencia de las muestras de glicerina que son más livianas y flexibles.

Dónde:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

m: masa del biopolímero

v: volumen de agua

Tabla 20: Densidad del biopolímero

BIOPOLIMERO	UNIDAD	20/5	15/10	10/15
Glicerina	g/cm^3	0.93	0.93 kg	1.12
Gelatina	g/cm^3	1.12	1.40	1.40
Alginato	g/cm^3	1.20	1.48	1.34

Fuente: (Autores, 2018)

4.7.3. Solubilidad

Aplicando el concepto de solubilidad que nos indica que a un determinado volumen de agua, se le agrega una cantidad determinada de muestra de biopolímero sometiénolo a un aumento de temperatura hasta que esta se disuelva completamente.

Tabla 21. *Tabla de Solubilidad*

Muestra	Peso de la muestra	Volumen de Agua	Temperatura
Alginato	12 g	200 ml	100 °C
Glicerina	12 g	200 ml	70 °C
Gelatina	12 g	200 ml	90 °C

Fuente: (Autores, 2018)

En la tabla 21 se puede observar que la muestra de glicerina necesita menos temperatura para alcanzar la misma solubilidad que las de alginato y gelatina.

4.7.4. Humedad

Aplicando el método de secado en la estufa se obtienen los valores detallados en la tabla 22 donde se puede observar la variación de masas de las películas en base húmeda y seca. Donde se observa que la película con mayor contenido de agua es la de glicerina.

$$\% \text{ humedad} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_3}$$

Donde:

m_1 = masa del crisol más la muestra húmeda en (g)

m_2 = masa del crisol más la muestra seca en (g)

m_3 : muestra húmeda

Tabla 22: Contenido de humedad

BIOPOLIMERO	PORCENTAJE MEZCLA ALMIDON-CASEINA	UNIDAD	MASA BASE HUMEDA	MASA BASE SECA	CONTENIDO DE HUMEDAD
GLICERINA	20/5	g	49	45.3	7.55 %
	15/10	g	45.6	42.1	7.68%
	10/15	g	40.2	36.8	8.46%
GELATINA	20/5	g	88	85.3	3.07%
	15/10	g	83.2	79.9	3.97%
	10/15	g	78.9	76.4	3.17%
ALGINATO	20/5	g	92.1	88.7	3.69%
	15/10	g	87.8	84.6	3.64%
	10/15	g	80.4	77.2	3.98%

Fuente: (Autores, 2018)

4.7.5. *Curvas de Secado*

En las tablas 23, 24 y 25 se observan las variaciones de humedad y velocidad de secado obtenidas de las diferentes muestras.

Donde:

- T: tiempo en horas
- Tm: tiempo medio en horas
- Mm: Masa de las muestras en gramos
- M H₂O: Masa de Agua en las muestras
- H: Humedad
- Hm: Humedad Media
- V: Velocidad de Secado

Tabla 23: Curvas de secado del biopolímero con alginato

T	Tm	Mm	M H2O	H	Hm	V
h	h	g	g	g H2O/ g Ms	g H2O/ g Ms	Kg H2O/ h. m2
0		17.8	11.4	1.78		
1	0.5	16	9.6	1.50	1.64	3.301
2	1.5	15.3	8.9	1.39	1.45	0.969
3	2.5	14	7.6	1.19	1.29	0.519
4	3.5	12.8	6.4	1.00	1.09	0.314
5	4.5	11.4	5	0.78	0.89	0.199
6	5.5	10	3.6	0.56	0.67	0.123
7	6.5	9.1	2.7	0.42	0.49	0.076
8	7.5	8.4	2	0.31	0.37	0.049
9	8.5	8	1.6	0.25	0.28	0.033
10	9.5	7.5	1.1	0.17	0.21	0.022
11	10.5	7.1	0.7	0.11	0.14	0.013
12	11.5	6.8	0.4	0.06	0.09	0.008
13	12.5	6.5	0.1	0.02	0.04	0.003
14	13.5	6.4	0	0.00	0.01	0.001
15	14.5	6.4	0	0.00	0.00	0.000

Fuente: (Autores, 2018)

Tabla 24: Curvas de secado del biopolímero con gelatina

T	Tm	Mm	M H2O	H	Hm	V
h	h	g	g	g H2O/ g Ms	g H2O/ g Ms	Kg H2O/ h. m2
0		15.5	11.5	2.88		
1	0.5	14.3	10.3	2.58	2.73	3.427
2	1.5	13	9	2.25	2.41	1.011
3	2.5	12.2	8.2	2.05	2.15	0.541
4	3.5	11.6	7.6	1.90	1.98	0.355
5	4.5	10.7	6.7	1.68	1.79	0.250
6	5.5	9.4	5.4	1.35	1.51	0.173
7	6.5	8	4	1.00	1.18	0.114
8	7.5	7.3	3.3	0.83	0.91	0.076
9	8.5	6.7	2.7	0.68	0.75	0.055
10	9.5	5.9	1.9	0.48	0.58	0.038
11	10.5	5.3	1.3	0.33	0.40	0.024
12	11.5	4.5	0.5	0.13	0.23	0.012
13	12.5	4.2	0.2	0.05	0.09	0.004
14	13.5	4	0	0.00	0.03	0.001
15	14.5	4	0	0.00	0.00	0.000

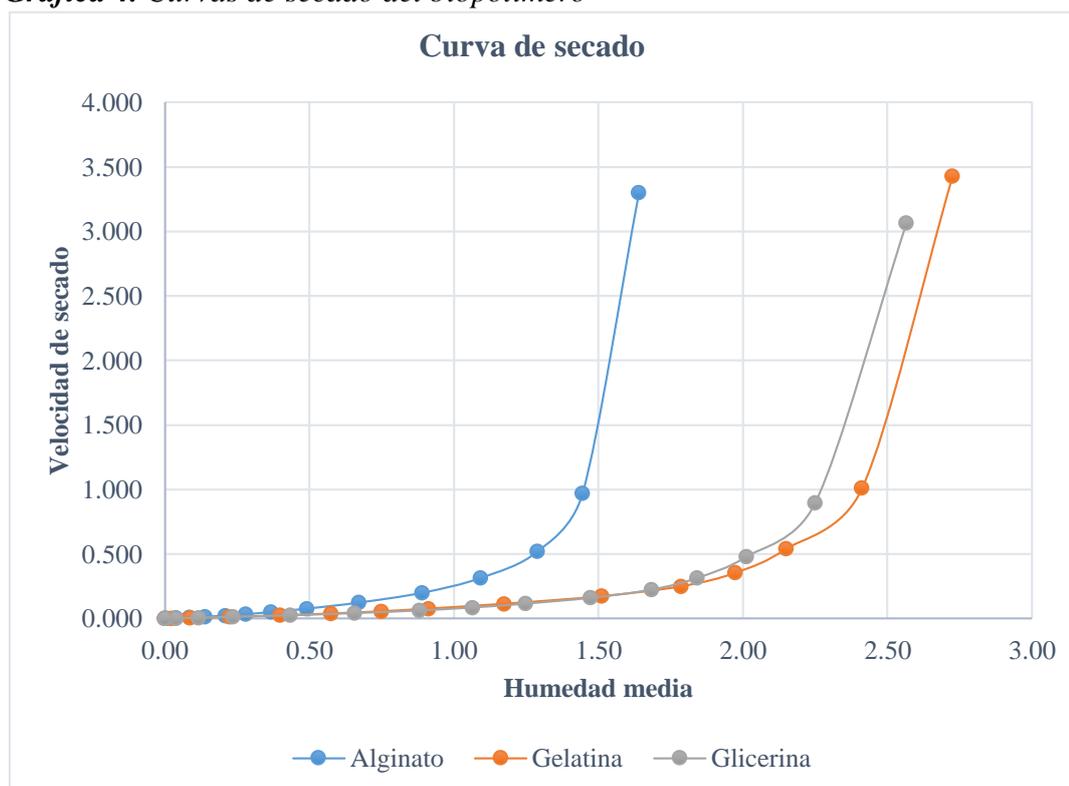
Fuente: (Autores, 2018)

Tabla 25: Curvas de secado del biopolímero con glicerina

T	Tm	Mm	M H ₂ O	H	Hm	V
h	h	g	g	g H ₂ O/ g Ms	g H ₂ O/ g Ms	Kg H ₂ O/ h. m ²
0		14.3	10.5	2.76		
1	0.5	12.8	9	2.37	2.57	3.065
2	1.5	11.9	8.1	2.13	2.25	0.896
3	2.5	11	7.2	1.89	2.01	0.481
4	3.5	10.6	6.8	1.79	1.84	0.314
5	4.5	9.8	6	1.58	1.68	0.224
6	5.5	9	5.2	1.37	1.47	0.160
7	6.5	8.1	4.3	1.13	1.25	0.115
8	7.5	7.6	3.8	1.00	1.07	0.085
9	8.5	6.7	2.9	0.76	0.88	0.062
10	9.5	5.9	2.1	0.55	0.66	0.041
11	10.5	5	1.2	0.32	0.43	0.025
12	11.5	4.4	0.6	0.16	0.24	0.012
13	12.5	4.1	0.3	0.08	0.12	0.006
14	13.5	3.8	0	0.00	0.04	0.002
15	14.5	3.8	0	0.00	0.00	0.000

Fuente: (Autores, 2018)

Gráfica 4. Curvas de secado del biopolímero



Fuente: (Autores, 2018)

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La materia prima caracterizada, en el caso de la leche (vaca de raza Jersey) tuvo una diferencia en su composición aún siendo de la misma raza, lo cual indica que ésta siempre tendrá pequeñas variaciones, aunque no resulten muy significativas.
- El equipo de electroporación para la obtención de las proteínas de la leche (caseína), se obtuvo por medio de pulsos eléctrico de alta intensidad, donde se logró conseguirlas en forma de películas.
- Se logró obtener el biopolímero a partir de tres diferentes formulaciones en relación almidón-caseína donde se pudo determinar que al agregar diferentes aditivos gelificantes ayudan a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del producto final.
- Las películas obtenidas con adición de alginato y gelatina en comparación con la de glicerina mejoró hasta un 30% en las pruebas de tensión, mientras que en la elasticidad la adición de glicerina resultó con una mejora de hasta un 50%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios en área microbiológica tanto de la película de fat y magro de la leche como del biopolímero obtenido.
- Mejorar el diseño del equipo de electroporación buscando un material apropiado para aumentar la eficiencia en la obtención de las películas.
- Los electrodos a utilizar deben poseer un buen acabado y un material de grado alimenticio para que no haya alteraciones al momento de realizar la electroporación.
- Buscar más opciones de materiales gelificantes para mejorar las propiedades del biopolímero a obtener.
- Conseguir los métodos apropiados para realizar el moldeo del biopolímero y tenga una estructura uniforme.

BIBLIOGRAFIA

- Agudelo Gómez, D. A., & Bedoya Mejía, O. (19 de Julio de 2005). Composición Nutricional de la leche de ganado vacuno. *Lasallista de Investigación*, II(1), 38-42. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520107.pdf>
- Alais, C. (2001). *Ciencia de la leche* (Septima ed.). (A. Lacasa Godina, Trad.) Francia: Continental S.A. Recuperado el 5 de Enero de 2018, de <https://es.scribd.com/document/354903801/Alais-Charles-Ciencia-De-La-Leche-Principios-De-Tecnica-Lechera-pdf>
- Arevalo, K. (1996). *Elaboracion de plasticos biodegradables a partir de polisacaridos y su estudio de biodegradacion a nivel de laboratorio y campo*. Tesis Doctoral, Universidad Autonoma Nuevo Leon, División de estudios de Posgrado, Monterrey. Recuperado el 3 de Octubre de 2017
- Aristazábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía Técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. (D. Mejía Lorío, Ed.) Roma, Italia: Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. Recuperado el 23 de Agosto de 2017, de <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/2257/1/Libro%20de%20cultivo%20de%201a%20Yuca.pdf>
- Artica, L. (2000). *Cáculo de propiedades Termofísicas*. Universidad Nacional del Centro de Perú, Departamente en Industrias Alimentarias. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017
- Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., & Aiba, S.-i. (1998). *Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties* (Vol. 37). Elsevier. doi:10.1016/S0144-8617(98)00083-6
- Auge, M. (2007). *Agua fuente de vida*. Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Geológicas, La Plata. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>

- Becerra Lopez, S., & Paz Rueda, P. (2009). *Films de caseína como agente protector en el traslado y manipulación de los productos de exportación de la industria salmonera*. UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago, Chile. Recuperado el 3 de Enero de 2018
- Betancourt Aguilar, C., Prado, R., Castellanos González, L., & Campos, S. (Septiembre de 2016). Características de la glicerina generada en la producción de biodisel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *Cultivos Tropicales*, XXXVII(3), 7-14. doi:10.13140/RG.2.1.4329.2403
- Bozquez, M. (2000). *Industria Alimenticia*. España. Recuperado el 4 de Noviembre de 2017
- Calderon, M., San Martin-Gonzalez, M., Barbosa-Cánovas, G., & Swanson, B. (1998). Metodos no Térmicos para procesamiento de Alimentos: Variables Variables e Inactivacion Microbiana. *J.Food Technology*, 1-9. Recuperado el 2 de Enero de 2018
- Cuichan Guanoluisa, R. (2015). "Obtención de acido poli láctico a partir de lactosuero para la fabricación de empaques primarios". Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Recuperado el 20 de Julio de 2017
- Cup, B., Gontard, N., & Guilbet, S. (1998). *Proteins as agricultural polymers for packaging production* (Vol. 75). Cereal Chemistry. doi:10.1094/CCHEM.1998.75.1.1
- Donoso, J. (4 de 2006). *Biopolímeros*. Obtenido de Universitat de les Illes Balears: http://facultatciencias.uib.cat/prof/josefa.donoso/campus/modulos/modulo4/modulo4_14.htm
- Espezua, E., & Ponce, E. (2014). *Obtención y Caracterización mecánica de compósitos con matriz de biopolímero termoplástico de PLA*. Tesis de Grado, Universidad Católica Santa María, Arequipa. Recuperado el 3 de Octubre de 2017, de tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/3004

- Estrada Martínez, M. A. (2011). *El libro blanco de la leche y los productos lácteos* (Primera ed.). México, México: CANILEC. Recuperado el 5 de Enero de 2018, de http://www.canilec.org.mx/descarga_archivos_publico/Libro_Blanco_mail.pdf
- Evans, C. (2001). *Biodegradable plastics*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2017
- Fama, L. (2003). *Películas comestibles de aplicación industrial*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017
- Flores, S. (2004). *Comportamiento mecánico y dinámico de películas comestibles*. Tesis , Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ingeniería, Buenos Aires. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017
- Fuentes Guerra, M. A. (2010). *Manual de composición y propiedades de la leche*. Proyecto final, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Departamento de Tecnología de alimentos. Recuperado el 5 de Enero de 2018, de http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/01/301105_LECTURA_Revision_de_Presaberes.pdf
- García, M., Sanchez, F. D., Marin, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortéz, G. (2001). El Agua. En Leyva, & Pablo (Edits.), *El medio ambiente en Colombia* (Segunda ed., págs. 115-189). Bogotá, Colombia: Claudia Cano Correa; Magdalena Arango Cortazar. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
- García, O., & Ochoa, I. (2009). *Derivados lácteos*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 19 de Septiembre de Septiembre de 2017, de http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/31496/pdf/b2_car2.pdf
- Gennadios, T. (2000). *Edible Films and Coatings from Wheat and Cor Proteins* (Cuatrigésimo Cuarta ed.). Recuperado el 13 de Noviembre de 2017

Google Maps. (Noviembre de 2017). Recuperado el Noviembre de 2017, de Google Maps:

<https://www.google.com.ec/maps/place/Facultad+de+Ingenier%C3%ADa+Qu%C3%ADmica+Universidad+de+Guayaquil/@-2.181672,-79.9004703,17z/data=!4m5!3m4!1s0x902d6de7a9edb003:0x119fa42e0ed501c7!8m2!3d-2.1819132!4d-79.8992794>

Guerra, F., & Vallejo, H. (2005). *Aplicaciones de los polisacáridos en la obtención de biopolímeros: POLI (Ácido láctico)*. Química y tecnología de macromoléculas. Recuperado el 20 de Julio de 2017

Guerrero Anaya, D. (2014). *Almidon*. Seminario: Almidón, Gelatinización y Retrogradación, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, México. Recuperado el Julio de 2017, de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Almidon_27067.pdf

Gutierrez Lara, J. L. (2013). *Efecto del tipo de carmaza sobre las propiedades reológicas del licor de gelatina pura de origen bovino*. Tesis pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Departamento de Ingeniería, Ambato. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6499/1/AL%20518.pdf>

Hazard, S. (2011). Recuperado el Junio de 2017, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR22424.pdf>

Hernandez Medina, M., Torruco Uco, J. G., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (Septiembre de 2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y tecnología de alimentos*, 718-726. Recuperado el 20 de Octubre de 2017, de <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>

Hernández, G., Rodríguez, Y., Arvizu, D., Reyes, R., Murillo, J., & Muñoz, M. (Mayo de 2011). Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería*

- Investigación y Tecnología*, XIII(2), 155-168. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v13n2/v13n2a3.pdf>
- Ho, S., Mittal, G., Cross, J., & Griffiths, M. (1995). En *Inactivation of Pseudomonas fluorescens by High Voltage Electric Pulses* (Vol. 60). Journal of Food Science. Recuperado el 3 de Enero de 2018
- Hoyos, M. (2001). *Empaques y/o películas comestibles y biodegradables*. Tesis, Universidad Nacional, Facultad de Química farmacéutica, Bogotá. Recuperado el 12 de Septiembre de 2017
- Jaramillo, C. (11 de Diciembre de 2011). *Contaminación por plásticos en el Ecuador*. Recuperado el 15 de Agosto de 2017, de <https://contaminacionmundial.wordpress.com/2011/12/06/contaminacion-por-plasticos-en-ecuador/>
- Katarzyna, L., & Lewandowicz, G. (2010). *Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review*. Poznań University of Life Sciences, Department of Biotechnology and Food Microbiology, Poland. Recuperado el 5 de Agosto de 2017, de <http://www.pjoes.com/pdf/19.2/255-266.pdf>
- Ke, T., & Sun, X. (2001). *Effects of moisture content and heat treatment on the physical properties of starch and poly(lactic acid) blends* (Vol. 81). Applied Polymer Science. doi:10.1002/app.1758
- Kokini, J., Baumann, G., Breslauer, K., Chedid, P., Herh, L., Madeka, & H. (1990.). *A kinetic model for starch gelatinization and effect of starch/protein interactions on rheological properties of 98% amylopectin and amylose rich starches*. London: Elsevier Applied Science. Recuperado el 6 de Agosto de 2017
- Kowalczyk, D., & Baraniak, B. (23 de Febrero de 2011). *Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films*.

- Universidad de Ciencias de la Vida en Lublin, Departamento de Bioquímica y Química de Alimentos, Lublin. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.02.037
- Liu, Z. (2005). Edible films and coatings from starches. En *Innovations in Food Packaging* (págs. 318–337). Oxford, Reino Unido: Elsevier Academic. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb09034.x
- Lupo Pasin, B. (2015). *Estudio de la gelificación de alginatos para encapsulación: Caracterización, preparación y aplicaciones en alimentos funcionales*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, Departamento de Tecnología de alimentos, Barcelona. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de Acmor: http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/64943/1/BLP_TESIS.pdf
- Mali, S., Grossmann E, M. V., Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. B. (2002). Microstructural characterization of yam starch films. En *Carbohydrate Polymers* (Vol. 50, págs. 379-386). Elsevier. Recuperado el 7 de Marzo de 2017
- Martínez, S. (1997). *Caracterización y evaluación del potencial productivo de orégano (Lippia berlandieriShauer) en el municipio de Mapimi, Durango*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Chapingo, Mapimi. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017
- Matveev, Y., Grinberg, V., & Tolstoguzov, V. (2000). *The plasticizing effect of water on proteins, polysaccharides and their mixtures. Glassy state of biopolymers, food and seeds*. Food Hydrocolloids. Elsevier. doi:10.1016/S0268-005X(00)00020-5
- Montalvo, C., López Malo, A., & Palou, E. (2012). *Películas comestibles de proteínas: características, propiedades y aplicaciones*. Paper, Universidad de las Américas de Puebla, Departamento de Ingeniería Química, San Andrés. Recuperado el 5 de Noviembre de 2017
- Montoya Henao, S. (2007). *Industrialización de la yuca: Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones*. Tesis Pregrado, Universidad del Valle, Departamento de Alimentos, Cali.

- Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://www.ilustrados.com/documentos/inustrializacion-yuca-270308.pdf>
- Pardo, O. H., Castañeda, J. C., & Ortíz, C. A. (Diciembre de 2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papas. *Agroindustria*(4), 289-295. Recuperado el 25 de Agosto de 2017, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/viewFile/37126/43921
- Pereira, C., Cunha, A., Reis, R., & Vazquez, B. (1998). *starch-based thermoplastic hydrogels for use as*. *J Mater Sci: Mater*. Recuperado el 7 de Agosto de 2017
- Pérez Angueira, L., & Reinaldo, R. (2014). *Producción de glicerina USP*. Proyecto final, Universidad Tecnológica Nacional, Departamento de Ingeniería, Trenque Lauquen. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/PPI-CAI/ppi2014trabajo.pdf>
- Posada Castro, N. A., & Alejo Baquero, C. S. (2013). *Plan de negocios para la producción y comercialización de gelatinas en tercera dimensión*. Tesis Pregrado, Universidad Libre de Colombia, Departamento de Ingeniería Industrial, Bogotá. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7794/PosadaCastroNathaliaAndrea2013.pdf?sequence=1>
- Quass, D. (1997). *Pulsed electric field processing in the food industry. A Status Report on PEF*. Electric Power Institute, Palo Alto, California. Recuperado el 2 de Enero de 2018
- Quiñonez, C. (28 de Junio de 2015). Plásticos amenazan el océano de Ecuador. *El Universo*. Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de <https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2015/06/28/nota/4987614/plasticos-amenazan-oceano-ecuador>

- Ramos Diaz, A., Aguirre Muñoz, M., & Hernandez Montoya, C. (2010). *Biopolímeros y sus aplicaciones*. Universidad Cetys, Ing. Cibernética Electrónica, Mexicali. Recuperado el 18 de Julio de 2017
- Robert, J. (2013). *Bioquímica de Harper* (Vigésimo Novena ed.). McGraw Hill. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017
- Rodríguez Sepúlveda, L. J., & Orrego Alzate, C. E. (Junio de 2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos. *Revista Científica*(35), 252-264. doi:10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9
- Rosales, A. d. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua*. Tesis Pre-Grado, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, Departamento de Química, Managua. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de <http://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>
- Sánchez Villanueva, R., Fabra Rovina, M. J., & Talens Oliag, P. (2010). *Recubrimientos comestibles a base de caseinato sódico con capacidad antioxidante*. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia: Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria. Recuperado el 2 de Octubre de 2017, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13619/tesina%20Regina%20final.pdf?sequence=1>
- Vázquez Contreras, E. (15 de 10 de 2003). *Bioquímica y biología molecular en línea* . Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://laguna.fmedic.unam.mx/~evazquez/0403/velocidad%20reaccion%20enzimatica3.html>

- Villada Moreno, J. J. (2010). *Conservadores químicos utilizados en la industria alimentaria*. Tesis Pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenavista. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/456/61581s.pdf?sequence=>
- Woloj, D. J. (2011). *Nuevas aplicaciones de la glicerina: Un análisis preliminar*. Tesis Pregrado, Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Buenos Aires. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://www.magatem.com.ar/NUEVAS-APLICACIONES-DE-LA-GLICERINA-UN-ANALISIS-PRELIMINAR.pdf>
- Wong, W. (2000). *Development of Edible Coatings for Minimally Processed Fruits and Vegetables*. (J. Krochta, E. Baldwin, & M. Nisperos-Carreiro, Edits.) Lancaster, Pensilvania, Estados Unidos. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017
- Yua, L., Dean, K., & Li, L. (2006). *Polymer blends and composites from renewable resources*. South China University of Technology, School of Food and Light Industrial Engineering. China: Elsevier. Recuperado el 6 de Agosto de 2017
- Zimmermann, U., & Benz, R. (1980). *Dependence of the Electrical Breakdown Voltage on the Charging Time in Valonia Utricularis*. Berlin, Heidelberg: Springer. Recuperado el 3 de Enero de 2018

ANEXOS

Anexo 1: Fotografías

Composición de la leche y electroporación



Obtención de la película de fat y magro de la leche (caseína)



Secado y Molienda de la Película de fat y magro de la leche.



Obtención de Caseína y Pesado de Almidón



Elaboración del biopolímero



Moldeo del Biopolímero



Secado del biopolímero



Pruebas Mecánicas y Físicas

Densidad del biopolímero



Tensión



Solubilidad



Humedad del Biopolimero

