



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
EXTRACTIVAS.**

**“ESTUDIO DEL TRATAMIENTO DE QUEMADURAS CON  
QUERATINA DE CABELLO HUMANO”**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL.**

**PRESENTA**

**CHACÓN ANGUIANO KARLA GABRIELA.**

**DIRECTOR DE TESIS : M. en C. J. TRINIDAD ÁVILA SALAZAR.**



**CIUDAD DE MÉXICO.**

**NOVIEMBRE 2018**



T-105-18

Ciudad de México, a 09 de noviembre de 2018.

A la C. Pasante:  
**KARLA GABRIELA CHACÓN ANGUIANO**

Boleta:  
**2013320643**

Carrera:  
**IQI**


Generación:  
**2012-2017**


Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica a través de este Departamento autoriza que el C. **M. en C. José Trinidad Ávila Salazar**, sea asesor en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:

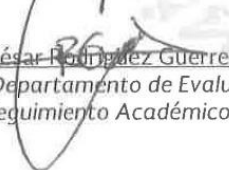
**“Estudio del tratamiento de quemaduras con queratina de cabello humano”**


Resumen.  
Introducción.  
I.- Fundamentación teórica.  
II.- Estudio del almidón.  
III.- Desarrollo experimental.  
IV.- Análisis de resultados.  
Conclusiones.  
Referencias.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.

  
Ing. Víctor Mandel Martínez Reyes  
Presidente de la Academia de  
Química Orgánica y Polímeros

  
M. en C. José Trinidad Ávila Salazar  
Director  
Ced. Prof. 4799066

  
Ing. César Rodríguez Guerrero  
Jefe del Departamento de Evaluación  
y Seguimiento Académico.

  
M. en C. Isaura García Maldonado  
Subdirectora Académica

**T-105-18**

Ciudad de México, a 23 de noviembre de 2018.

A la C. Pasante:

**KARLA GABRIELA CHACÓN ANGUIANO**  
**PRESENTE**

Boleta:

**2013320643**

Carrera:

**IQI**

Generación:


**2012-2016**

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:

**"Estudio del tratamiento de quemaduras con queratina de cabello humano"**

encontramos que el citado Trabajo escrito de **Tesis Individual**, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y **PROCEDER A SU IMPRESIÓN** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

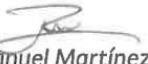
Atentamente  
**JURADO**




Ing. Jesús Torres Calderón  
**Presidente**




M. en C. José Trinidad Ávila Salazar  
**Secretario**



M. en C. Manuel Martínez Hernández  
**1er. Vocal**



Ing. José de Jesús Bernabé Juárez  
**2º Vocal**



M. en E. Berenice Tierrablanca Gudíño  
**3er. Vocal**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E  
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

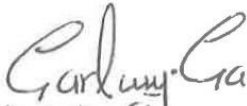


## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad México del día **23** del mes de **noviembre** del año **2018**, el/la que suscribe: **Karla Gabriela Chacón Anguiano** estudiante del Programa de: **Ingeniería Química Industrial** con número de Boleta: **2013320643**, manifiesta que es autor/a intelectual del presente trabajo escrito, por la opción: **Tesis Individual** bajo la dirección del profesor/a **M. en C. José Trinidad Salazar**, ceden los derechos del trabajo intitulado **Estudio del tratamiento de quemaduras con queratina de cabello humano**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico **karla.gabrielachacon@gmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

  
Karla Gabriela Chacón Anguiano  
Nombre y Firma del/la estudiante

  
J. Trinidad Salazar  
Nombre y Firma del profesor/a

## **RECONOCIMIENTOS.**

Gratifico al Maestro José Trinidad Ávila Salazar por el apoyo otorgado desde el comienzo de esta investigación, confiar en mis conocimientos, brindarme su paciencia y motivación al dirigir este trabajo de investigación. Por sus consejos brindados y su tutoría al ser director de esta tesis de quien aprendí de la disciplina y métodos de investigación.

A la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas por permitirme desarrollar la experimentación y análisis en sus instalaciones, por las bases y conocimientos que brindó en mi cada profesor para convertirme en un ingeniero, por sus laboratorios y aulas dónde día a día se desarrollaba mi aprendizaje, pero sobre todo por los momentos inolvidables que llevo en el alma.

Al Instituto Politécnico Nacional por ser una institución de suma importancia que me inspiro para ser perseverante y alcanzar sueños más grandes de los que añoraba cuando aún me encontraba como aspirante. Por ser el impulso en aquel HUELUM y la GLORIA alcanzada.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco a mi familia por los valores y la educación con la que me formaron, a mi Fe que me abrazo de amor en momentos críticos permitiéndome llegar a este momento con salud, a mi principal motivación que es el valor del amor, porque el amor mueve el mundo.

A mi abuelita, Marinita por ser el sol en mi vida todos los días y recordar que ella siempre nos dice “¡Ánimo! Si yo soy tu sol y motivación, piensa en mí”. Marinita siempre siendo la luz en mi vida y mi compañía desde que nací.

A mis padres Francisco y Gabriela, por brindarme la educación y las herramientas para lograr mis objetivos, brindarme consejos, tiempo y valores para formarme tanto académicamente como humana; por enseñarme a ser perseverante y por su incondicional apoyo. A mi papá por demostrarme día a día con su actitud que no hay cosas imposibles solo difíciles de alcanzar, a mi mamá por brindarme todo el apoyo y educarme tan diferente del resto las personas porque mi ejemplo es ella, ser mejor cada día.

A mi hermano Javier por enseñarme lo que significa ser emprendedor, que no hay límites para alcanzar tus sueños, por ser la persona que siempre me sorprende con su intelecto y seguridad de emprender un nuevo proyecto, brindarme consejos para ser mejor, darme otra expectativa de encontrar oportunidades dónde otros no las ven, por ser mi ejemplo y único hermano lo amo.

A mi padrino Omar y mi madrina Lili, por brindarme su apoyo, los mejores consejos, por acompañarme en las decisiones que marcaron una pauta en mi vida y por estar conmigo toda mi vida como si fueran mis padres.

A todos mis amigos por motivarme, confiar en mí y en que esta meta iba ser alcanzada, por compartir conmigo momentos inolvidables y de apoyo incondicional ya que esta tesis representa una etapa de éxito en mi vida en la que ustedes me acompañaron y el principio de un majestuoso porvenir.

## ÍNDICE GENERAL.

<b>ÍNDICE DE TABLAS.</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b> .....	vi
<b>ABREVIATURAS.</b> .....	ix
<b>RESUMEN.</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN.</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I . FUNDAMENTACIÓN TEORÍCA.</b> .....	3
<b>1.1 Antecedentes de investigación.</b> .....	3
<b>1.2 Características del cabello humano.</b> .....	5
<b>1.3 Proteínas.</b> .....	10
1.3.1 Características de las proteínas.....	11
1.3.2 Proteína Queratina. ....	14
<b>1.4 Biomateriales para curación de heridas.</b> .....	22
<b>CAPÍTULO II . ESTUDIO DEL ALMIDÓN.</b> .....	25
<b>2.1 Biopolímero.</b> .....	25
<b>2.2 Tipos de almidón.</b> .....	25
<b>2.3 Almidón de maíz.</b> .....	28
<b>CAPÍTULO III . DESARROLLO EXPERIMENTAL.</b> .....	34
<b>3.1 Tipo de investigación.</b> .....	34
<b>3.2 Diagrama de flujo.</b> .....	35
<b>CAPÍTULO IV . ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b> .....	41
<b>4.1 Hidrolisis del cabello.</b> .....	41
<b>4.2 Formulación de película de almidón de maíz con queratina.</b> .....	42
<b>4.3 Acoplamiento de glicerina queratina.</b> .....	46

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS. ....</b>	<b>52</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>55</b>



## **ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla I.1 Resumen de especies químicas presentes en el cabello humano .....	6
Tabla I.2 Tabla de composición química de la cistina en las subcapas de la cutícula .....	8
Tabla II.1 Composición de diferentes tipos de almidón.....	26
Tabla II.2 Composición de diferentes tipos de almidón.....	27
Tabla III.1 Especificación de materiales y equipo empleado. ....	34
Tabla IV.1 Preparación de Hidrolisis de Muestras.....	41
Tabla IV.2 Evaluación de glicerina. ....	42
Tabla IV.3 Evaluación de estearato de magnesio.....	43
Tabla IV.4 Evaluación de ácido bórico. ....	43
Tabla IV.5 Segunda evaluación de ácido bórico. ....	45
Tabla IV.6 Evaluación del almidón de maíz. ....	45
Tabla IV.7 Evaluación de la queratina. ....	46
Tabla IV.8 Segunda evaluación de queratina. ....	47
Tabla IV.9 Formulación de película almidón queratina. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura. I.1 Sección de piel humana ilustrando una fibra de cabello desde el folículo .....	5
Figura. I.2 Diagrama esquemático de una fibra de cabello human .....	6
Figura. I.3 Estructura esquemática del cabello.....	7
Figura. I.4 Estructura esquemática de las subcapas de la cutícula del cabello humano.....	7
Figura. I.5 a) Cutícula saludable, b) Cutícula dañada, c) Cutícula con pérdida de escamas..	9
Figura. I.6 Formula general de los aminoácidos. ....	10
Figura. I.7 Reacción entre aminoácidos para formar enlace peptídico .....	11
Figura. I.8 Estructura primaria de las proteína .....	11
Figura. I.9 Estructura secundaria $\alpha$ -hélice .....	12
Figura. I.10 a) Giro $\beta$ , b) Estructura secundaria beta de las proteínas .....	13
Figura. I.11 Estructura Cuaternaria de las proteínas correspondiente a la hemoglobina. ....	13
Figura. I.12 $\alpha$ - Aminoácidos L y D. ....	15
Figura. I.13 Aminoácido Glicina. ....	15
Figura. I.14 Aminoácido Fenilalanina.....	16
Figura. I.15 Aminoácido Alanina.....	16
Figura. I.16 Aminoácido Ácido aspártico .....	16
Figura. I.17 Aminoácido Lisina.....	17
Figura. I.18 Aminoácido Cisteína .....	17
Figura. I.19 Aminoácido Cistina .....	17
Figura. I.20 Forma helicoidal de la $\alpha$ -queratina .....	18
Figura. I.21 Estructura primaria de la queratina.....	19
Figura. I.22 Estructura secundaria en $\alpha$ -hélice en la parte superior y en la parte inferior estructura en hoja- $\beta$ plegada de la queratina. ....	19
Figura. I.23 Estructura de la queratina .....	20
Figura. I.24 Representación de las fibras en el cabello. ....	20
Figura. I.25 Reacción de formación de Cisteína. ....	21
Figura. I.26 Apósito laminar Keramatrix de queratina de Molecular Biologicals. ....	23
Figura. II.1 Estructura de la macromolécula amilosa.....	28
Figura. II.2 Estructura de la amilopectina .....	29

Figura. II.3 Ramificación de la amilopectina, a) y b) modelos estructurales de hélices paralelas, c) fragmento aumentado de a) o b).....	29
Figura. III.1 a) 10 gr de cabello seco .....	36
Figura. III.2 a) Cabello seco preparado para hidrolisis, b) adición de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	36
Figura. III.3 Lectura de temperatura.....	36
Figura. III.4 a) Ajuste de pH, b) pH en 4.....	36
Figura. III.5 Primer decantado.....	37
Figura. III.6 Primer Extracción.....	37
Figura. III.7 Segundo Decantado.....	37
Figura. III.8 a) Tercer decantado, b) Cuarto decantado.....	37
Figura. III.9 a) Tercer decantado, b) Cuarto decantado.....	38
Figura. III.10 Cristales purificados.....	38
Figura. III.11 Acoplamiento glicerina y queratina. ....	38
Figura. III.12 Incorporación de Almidón y agua a la mezcla.....	38
Figura. III.13 a) Mezcla con los reactivos incorporados, b) Mezcla final.....	39
Figura. III.14 Lámina previo al curado.....	39
Figura. III.15 Curado de lámina posterior a 7 horas.....	39
Figura. III.16 Lámina elaborada en rodillos lista para terminar curado. ....	40
Figura. III.17 Lamina final elaborada.....	40
Figura. IV.1 Lamina formada en la muestra 2.....	43
Figura. IV.2 Película obtenida de muestra 1. ....	44
Figura. IV.3 Película obtenida en la muestra 2. ....	44
Figura. IV.4 Película obtenida en la muestra 3. ....	45
Figura. IV.5 Película formada muestra 1.....	46
Figura. IV.6 Película formada muestra 2.....	46
Figura. IV.7 Disolución de la queratina muestra 1.....	47
Figura. IV.8 Disolución de la queratina muestra 2.....	47
Figura. IV.9 Disolución de la queratina muestra 3.....	47
Figura. IV.10 Película de almidón queratina, a) elongación película, b) Evaluación color. ....	48

## ABREVIATURAS.

° C	Grados Celsius.
min	Minutos.
Hrs	Horas.
mL	Mililitros.
g	Gramos.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico.
NaOH	Hidróxido de sodio.
H <sub>2</sub> O	Agua.
HCl	Ácido Clorhídrico.
pH	Potencial de Hidrogeno.
%	Por ciento.
<	Menor que.
≤	Menor que o igual.
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrados.
μm	Micrómetros.
β	Beta.
nm	Nanómetros.
α	Alfa.
PM	Peso molecular.
&	Y.
NH <sub>2</sub>	Grupo amino.
CO-NH	Enlace Covalente de una poliamida
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno.
Temp.	Temperatura.
R	Grupo Radical.
COOH	Grupo Carboxilo
C <sup>α</sup>	Carbono α

## **RESUMEN.**

El propósito del proyecto que se planteó es desarrollar y formular apósitos laminares para la curación de heridas cutáneas, mejorar la calidad de vida de pacientes con heridas crónicas y regeneración de piel a base de biopolímeros biodegradables. Estos biopolímeros pueden degradarse de forma natural, son producidos a partir de sustancias naturales como aminoácidos y carbohidratos. En la presente investigación el biopolímero empleado es la proteína queratina extraída de cabello humano que actúa como el fármaco para cicatrizar y el almidón de maíz para la elaboración de las películas de almidón queratina.

Se fabricaron apósitos laminares para la regeneración de tejidos y heridas de quemaduras de primer y segundo grado, a partir de la extracción de  $\alpha$ -queratina presente en el cabello, proporcionando un ambiente alto en queratina para la producción de las células epiteliales y demostrar la utilidad que tiene la queratina en la regeneración de tejidos.

La metodología empleada fue una hidrólisis ácida para la extracción de la proteína queratina, las películas de almidón se formulan con la queratina y se llevan a curado para formar el apósito laminar. El capítulo uno contiene las bases teóricas que sustentan la experimentación realizada para la extracción de la queratina del cabello, antecedentes de investigación, características del cabello y fundamentación teórica referente a los biomateriales para curación de heridas.

Dentro de la metodología de investigación realizada, el capítulo dos muestra las características, propiedades y artículos de investigación para conocer mejor la participación del almidón dentro del presente trabajo. Las referencias para llevar a cabo los procedimientos y establecer las condiciones dentro del proceso fueron por medio de fuentes de información, como trabajos de tesis, revistas científicas y libros. El capítulo tres muestra el desarrollo experimental por medio de diagramas de flujo y el material empleado, en el capítulo cuatro se muestra los análisis de resultados obtenidos a lo largo del proceso de formulación de la película y se realiza el análisis correspondiente a cada muestra.

Finalmente se presentan las conclusiones relevantes del trabajo de investigación y se propone continuar el estudio evaluando la cicatrización de las heridas, analizar diferentes variables involucradas en la obtención y caracterización de los cristales, ya que el objetivo principal dentro de este caso de estudio es la formulación de los apósitos para su aplicación.

## **INTRODUCCIÓN.**

Existe una continua necesidad de innovar el estudio del tratamiento y manejo de las heridas como: úlceras, quemaduras, abrasión o heridas crónicas. A pesar de la existencia de distintos tratamientos para curar heridas, como apósitos, hidrogeles o bandas; no atienden una parte de las necesidades clínicas de los pacientes. Actualmente se ha hecho énfasis en las investigaciones para el tratamiento y cuidado de las heridas y en los últimos años el objetivo es proveer productos que no solamente curen, sino optimizar el proceso de regeneración de los tejidos dañados.

El término herida es una pérdida de continuidad de la piel o mucosa producida por algún agente físico o químico <sup>[39]</sup>, este tipo de lesiones puede mejorar con revestimientos de queratina denominados apósitos de gel, matriz o espuma; son nuevos métodos de tratamiento para mejorar y agilizar la curación y renovación de tejidos.

En algunos países como Europa y Asia el cabello se recolecta con un fin, pero no en todos los países se tiene presente la disposición final del cabello y solamente se acumulan como residuos sólidos en la basura teniendo un valor agregado. El cabello contiene principalmente en un 90 % de su peso la proteína queratina, rica en aminoácidos con alto contenido en azufre, lo más relevante es que al extraer la queratina contenida en el cabello humano para crear un revestimiento para las heridas, se provee de un tratamiento compatible con los tejidos de la piel con niveles de rendimiento igual de eficaz que los apósitos biológicos de alto costo existentes en el mercado.

Se espera que la población mundial hacia el 2050 pase de 7 mil millones de personas a más de 9 millones, con este promedio el cabello humano seguirá constituyendo un recurso como parte de esta investigación y puede acumularse como basura o ser empleado para la producción de apósitos de queratina <sup>[31]</sup>.

El cabello está compuesto entre 65 % y 90 % de proteína queratina, 30 % agua y el resto de otros elementos químicos <sup>[40]</sup>. La proteína queratina contiene gran cantidad de azufre debido al aminoácido cistina y por sus propiedades químicas provee a la queratina un carácter hidrofóbico, elasticidad y dureza. Las características de la queratina por su contenido químico son: actuar como un agente antioxidante es decir prevenir el envejecimiento ayudando a las células de la piel a producir el colágeno tipo 4 y tipo 7, promover el crecimiento de las células epiteliales para una recuperación rápida de las heridas.

Las propiedades de la queratina que se encuentra en el cabello son compatibles con la capa de queratina que se ubica en la epidermis, capa de la piel que contiene queratina. Un apósito de queratina extraída del cabello humano, naturalmente intacto, permite trabajar mejor con la química de la piel.

Se vislumbra que en los progresos tecnológicos y avances en la ciencia siempre habrá conocimientos por aprender, el objetivo del presente trabajo es crear una alternativa para curar heridas, formulando apósitos laminares de queratina almidón. A partir del método de extracción de  $\alpha$ -queratina mediante una hidrólisis con ácido sulfúrico se obtiene cristales de queratina, mediante un proceso de curado los cristales obtenidos en conjunto con el almidón de maíz y distintos elementos se elabora un apósito laminar de queratina almidón.

En la experimentación se emplea cabello recolectado de peluquerías sin hacer distinción del cabello cano, teñido o virgen. El propósito del presente trabajo es elaborar y formular películas de almidón queratina, se propone continuar la presente línea de investigación evaluando los cristales de queratina haciendo distinción del cabello teñido, cano o virgen. Así mismo se propone que dentro de la siguiente fase de investigación se evalúe el comportamiento y la evolución de la cicatrización de las heridas aplicando los apósitos laminares.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.**

### **1.1 Antecedentes de investigación.**

A continuación, se muestran algunos estudios realizados acerca de los avances tecnológicos para el revestimiento de heridas y curación. En los últimos años las investigaciones que se han desarrollado alrededor del tema han ido en aumento, generando énfasis en las propiedades de hidratación, así como actividad antibacteriana. Naciendo así, los tratamientos a base de queratina para optimizar la curación y regeneración de los tejidos dañados gracias a las características químicas de la queratina que le concede los aminoácidos que conforman esta proteína.

Una de las características principales del desarrollo de este tipo de tratamientos es la propiedad de migración celular que tiene la queratina mejorando la cicatrización y aumentando el colágeno en la piel. Para el revestimiento de heridas con un exudado moderado denominada Keramatrix y Keragel, su funcionamiento comprende los roles que juega la queratina en el cuerpo, aislando las proteínas que dan estructura a las células, fuerza y acoplamiento. Los productos a base de queratina promueven el crecimiento celular, favoreciendo la velocidad de curación. La aplicación de estos apósitos no genera picazón y se puede manejar como exudados moderados que disminuir el tiempo de hospitalización y acelera la cicatrización (Morgado P.I 2015).

La proteína queratina regula el tamaño de la célula, el flujo intracelular de membranas (proceso por el cual los líquidos son enviados al cuerpo humano). Además, la queratina es empleada para diagnosticar los tumores cancerígenos; los resultados obtenidos no pueden ser interpretados fácilmente al no conocer cómo y con que se efectuó esta evaluación, se logró determinar que la invasión de células cancerígenas y metástasis es regulada por la tumorigénesis epitelial como reguladores multifuncionales de las células epiteliales de tumor. Los filamentos intermedios de queratina participan en la formación del marco estructural proteináceo donde su función es proteger a las células epiteliales, al verse involucradas con las células cancerígenas se observa que inhibe la reproducción y crecimiento de las células cancerígenas (Valencia G. 2016).



La queratina del cabello humano ha demostrado controlar las hemorragias en las pruebas realizadas en animales pequeños y grandes. Estudios realizados en animales demuestran la actividad hemostática de los hidrogeles de queratina presentando un alto flujo y un bajo flujo de hemorragia, tienen la capacidad de interactuar con las células y promover una propagación para controlar la pérdida de sangre. En la adición de la biomolécula quitosano se mejoran las propiedades de cohesión entre las células y propiedades de curación de heridas acelerando este proceso (Lehninger A. 1988).

En la aplicación de productos como lo son apósitos e hidrogeles a base de queratina, existe menos complicaciones médicas en cuanto a cambios y aceptada por pacientes promoviendo una cicatrización gracias a la migración de las células epiteliales (S. Kordestani 2014).

La tecnología Keraplast diseña revestimientos de un biopolímero sulfatado denominado queratina. Dichos apósitos tipo espuma de poliuretano, absorben mayor cantidad de humedad previniendo infecciones, estimulan las células epiteliales para la cicatrización. El tratamiento de queratina en una ulcera convencional  $< 5 \text{ cm}^2$  con una velocidad de recuperación del 13 % en 24 semanas bajo terapias convencionales, se logró aumentar la velocidad de curación a un 71 % con tratamiento de queratina. El alginato es un polisacárido sintetizado de las algas marinas y bacterias; este polisacárido provee esfuerzo mecánico y flexibilidad a las algas marinas, también funciona como depósito de agua para prevenir la deshidratación cuando están expuestas al aire. Los revestimientos de este tipo de biomateriales, no se adhieren al tejido dañado, son biodegradables, están compuestos de calcio y en contacto con las sales del drenado de la herida se forma un gel que favorece la humedad para la curación. El alginato absorbe un fluido 20 veces su propio peso y sus propiedades hemostáticas son eficientes en las heridas que sangran deteniendo la hemorragia. (Chandra R. and Rustigi R. 2015).

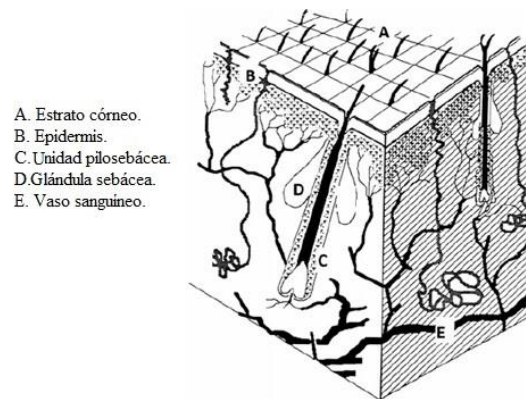
Las propiedades de las películas de queratina se ven favorecidas al agregar glicerina incrementando su adhesión, elasticidad y humectación, otro elemento que se adiciona dentro de la elaboración de estos apósitos es el quitosano, el cual aumenta las propiedades mecánicas como elongación y curación, acelerando el proceso natural de sanación. Las complicaciones médicas dentro de la extracción de queratina de origen animal son la biocompatibilidad, la proteína extraída de la lana o cuernos cumple con las siguientes propiedades: fuerza y

elasticidad; más sin embargo el problema es el proceso costoso de desinfección para hacer posible su aplicación. (Jillian G. Rouse and Mark E. Van Dyke, 2010).

## 1.2 Características del cabello humano.

Las bases teóricas que dan fundamento a la presente investigación son: las características de las proteínas, propiedades de la queratina, estructura del cabello. A continuación, se desarrolla dicha fundamentación para comprender mejor porque se efectuó la extracción de la proteína queratina del cabello humano.

El cabello humano contiene en mayor cantidad la proteína queratina que crece de sacos llamados folículos y determina la dureza del cabello y la fortaleza del mismo. Los folículos pilosos van desde la superficie de la piel a través del estrato córneo, la epidermis y hasta la dermis, proporcionando funciones protectoras, sensoriales, etc. La zona denominada papila dérmica, está compuesta por tejido conjuntivo y vasos sanguíneos que propician el crecimiento del cabello <sup>[10]</sup>. En la figura I.1 se aprecia una fibra de cabello donde las capas de la piel están identificadas por zonas.



*Figura. I.1 Sección de piel humana ilustrando una fibra de cabello humano desde el folículo,<sup>[10]</sup>.*

Las fibras de cabello tienen un diámetro de (50-100)  $\mu\text{m}$  y está compuesto de afuera hacia adentro por: la cutícula o escamas, corteza o córtex y la medula. En la figura I.2 se ilustra las diferentes capas de una fibra de cabello.

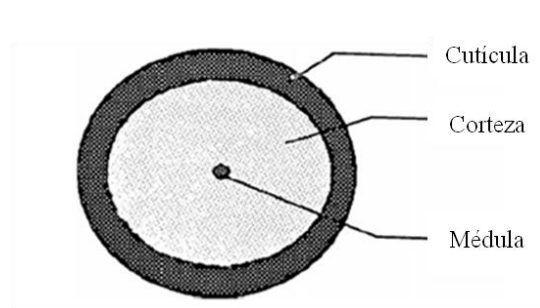


Figura. I.2 Diagrama esquemático de una fibra de cabello humano, <sup>[4]</sup>.

El cabello humano contiene diferentes especies químicas, aproximadamente (65-95) % de proteína queratina, los constituyentes restantes son: lípidos, agua, pigmentos y oligoelementos. Las proteínas están compuestas de largas cadenas de varias mezclas de 50 a 20 aminoácidos con un alto contenido en azufre, cada cadena puede tomar una forma helicoidal o en espiral <sup>[4]</sup>. En la tabla I.1 se muestra los constituyentes químicos del cabello y su estructura presentes en el cabello.

Tabla I.1 Resumen de especies químicas presentes en el cabello humano, <sup>[4]</sup>.

Especies Químicas	Composición y estructura.
Proteína queratina.	(65-95) %
Aminoácidos.	$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{R} \\   \\ \ominus \text{CO}_2 \end{array}$ R: Grupo funcional.
Cistina.	$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{S} - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{NH}_3 \oplus \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \ominus \text{CO}_2 \qquad \qquad \qquad \ominus \text{CO}_2 \end{array}$
Lípidos.	Estructural y libre.
Ácido 18-metil eicosanoico (18-MEA).	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{CH}(\text{CH}_3) - (\text{CH}_2)_{16} - \text{COOH} \end{array}$
Agua.	Hasta un 30 %.
Pigmentos y oligoelementos.	Melanina.

- *Cutícula.*

Es la capa superficial del cabello y su función principal es proteger la corteza, consiste en la sobre posición de células denominadas escamas cuticulares y se encarga de proteger y mantener el cabello sano. Se encuentra expuesta al medio ambiente, a los cambios de temperatura, daño mecánico proporcionado por el cepillado, daño térmico proporcionado por el uso de secadoras o elementos que proporcionen calor para estilizar el cabello y agentes químicos como teñidos o productos para estilizar el cabello.

En promedio el cabello humano tiene en la capa de la cutícula de (5-10) capas de células cuticulares, cada célula de cutícula mide aproximadamente de (0.3-0.5)  $\mu m$  de grueso y de (5-10)  $\mu m$  de largo, lo anterior se aprecia en la figura I.3.

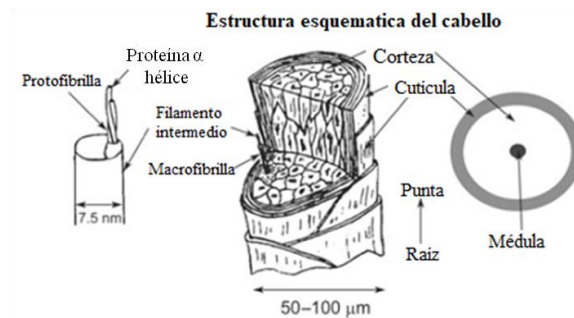


Figura. I.3 Estructura esquemática del cabello, [36].

Cada célula (escama) se divide en varias subcapas: epicutícula, capa A, exocutícula, endocutícula, la capa interna y el complejo de la célula de la membrana. La capa superficial  $\beta$  está cubierta por una fina capa de lípidos (ácidos grasos) y el ácido 18-MEA es la responsable del brillo del cabello y su comportamiento hidrófobo. Como se muestra en la figura I.4 las diferentes capas que conforman a la cutícula del cabello.

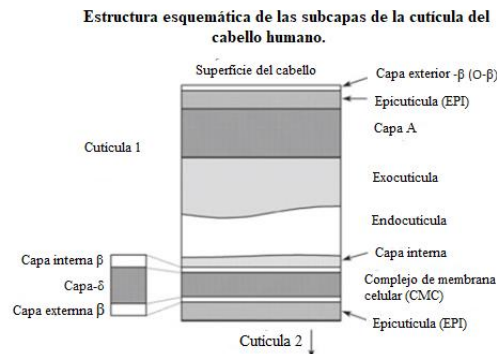


Figura. I.4 Estructura esquemática de las subcapas de la cutícula del cabello humano, [4].

La siguiente capa dentro de la cutícula es la capa principal o denominada la capa-A, alrededor de un 30 % de cistina es su composición y la cantidad de agua presente en esta capa es mínima, la cantidad de enlaces cruzados que contiene es muy alta por la presencia de enlaces disulfuro, lo que le da su alta resistencia química y mecánica.

La exocutícula adyacente a la capa principal contiene un 15 % cistina y en la parte interna de cada célula de la cutícula tiene una capa fina de material denominado capa interna. Intermedio a la exocutícula y la capa interna se ubica la endocutícula con una cantidad muy baja de cistina 3 % <sup>[4]</sup>. La composición de las capas y subcapa de la cutícula se muestra a continuación en la tabla I.2.

Tabla I.2 Tabla de composición química de la cistina en las subcapas de la cutícula, <sup>[4]</sup>.

Capa Cutícula	Composición de cistina	Detalles
Epicutícula	12 %	18-MEA capa de lípidos adherida a la exocutícula externa.
Capa-A	30 %	Altamente entrecruzado. Resistente mecánicamente. Químicamente resistente.
Exocutícula	15 %	
Endocutícula	3 %	
Capa Exterior	-	
Complejo de membrana celular (CSM)	2 %	Estructura laminar. Consiste en la capa interna $\beta$ -capa, $\delta$ -capa y en la capa externa $\beta$ -capa.

El complejo de membrana celular (CMC) es una estructura laminar, su función es separar cada célula de cutícula entre sí. Las fuerzas de cohesión son bajas por lo que el enlace cuticular es débil y algunas escamas que se encuentran sobrepuestas puedan desprenderse por desgaste mecánico, este tipo de desgaste o exposición del cabello a cambios de temperatura y medio ambiente se daña el cabello y la cutícula como se muestra en la figura I.5.

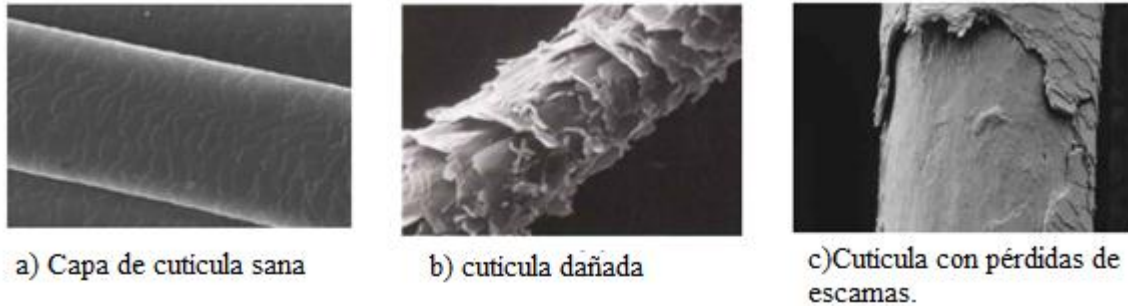


Figura. 1.5 a) Cutícula saludable, b) Cutícula dañada, c) Cutícula con pérdida de escamas.

El complejo de membrana de la célula consiste en células de membranas adhesivas que realiza la función de acoplar la cutícula y las células corticales.

- *Corteza.*

La corteza es la segunda capa de la fibra de cabello, contiene la mayoría de las propiedades como: elasticidad, pigmento, forma, humedad, células corticales y material de unión intercelular y el complejo de membrana de la célula.

Las células corticales tienen un grosor de  $(1-6) \mu\text{m}$  y  $100 \mu\text{m}$  de longitud, dado que esta capa es más profunda que la cutícula, al generar daños estos suelen ser peor dejando la corteza sin capacidad de retener la humedad propiciando a un cabello frágil. El córtex se divide en dos zonas: ortocórtex y paracórtex. El paracórtex se localiza en la parte interna y es químicamente estable por sus altos contenidos de cistina, el ortocórtex se encuentra en la parte externa del córtex.

Dentro del córtex se encuentran las macrofibrillas que tienen un diámetro de  $(0.1-0.4) \mu\text{m}$ , forman una gran parte de las células corticales. Cada una consiste de filamentos intermedios o también conocidos como microfibrillas de  $7.5 \text{ nm}$  de diámetro, cada macrofibrilla contiene de  $(500-800)$  microfibrillas y los filamentos intermedios tienen una composición de un 6 % de cistina <sup>[4]</sup>.

- *Médula.*

La médula conforma una parte mínima de la fibra del cabello, no contribuye con alguna función, objetivo o contenido primordial para dar propiedades al cabello humano.

### 1.3 Proteínas.

Las proteínas son biopolímeros formados por un gran número repetitivo de pequeñas moléculas denominadas aminoácidos. Se encuentran formadas principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, pueden contener además nitrógeno, azufre, hierro, fósforo entre otros elementos <sup>[19]</sup>. Si la unión de aminoácidos da lugar a una molécula no mayor a 10 se denomina oligopéptido, si el número es superior a 10 se denomina polipéptido y si su número es superior a 50 aminoácidos se denomina proteína. La fórmula general de un aminoácido se observa en la figura I.6.

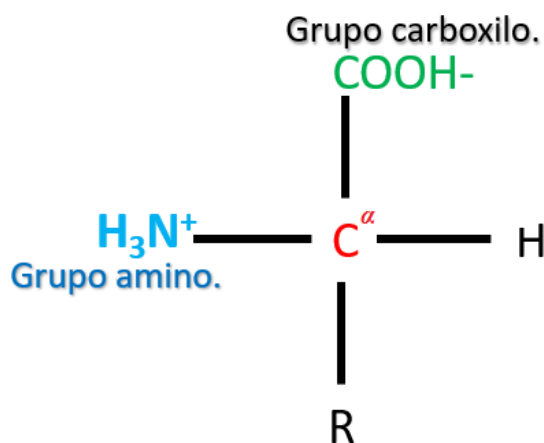


Figura. I.6 Fórmula general de los aminoácidos.

El carbono  $\alpha$  se dispone en el centro y en sus vértices dispone al grupo carboxilo, amino, y el grupo radical (R), según la disposición del grupo amino (NH<sub>2</sub>) en el vértice izquierdo o derecho se habla de  $\alpha$ -L-aminoácidos o también conocidos como  $\alpha$ -D-aminoácidos respectivamente. En las proteínas solo se encuentran L-aminoácidos ya que esta configuración es la más estable por mayor formación de número de puentes hidrógeno <sup>[27]</sup>.

Los aminoácidos se encuentran unidos mediante enlaces peptídicos entre el grupo carboxilo del primer aminoácido con el grupo amino del segundo, por medio de reacción de síntesis vía deshidratación dos moléculas se unen mediante un enlace covalente CO-NH, con la pérdida de una molécula de agua y el producto es la unión de un dipéptido, así sucesivamente hasta formar una cadena larga <sup>[29]</sup>. Lo unión de dos aminoácidos descrito anteriormente se puede apreciar a continuación en la figura I.7.

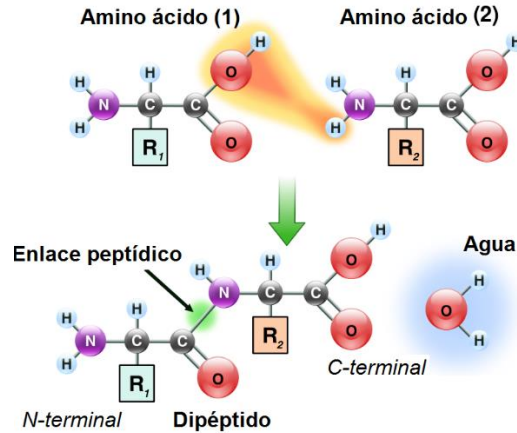
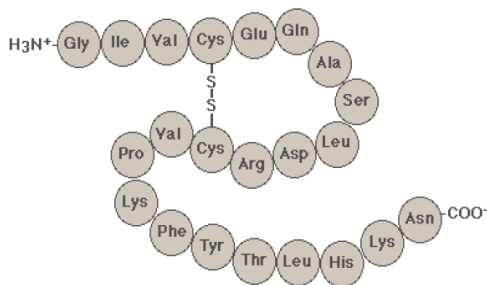


Figura. I.7 Reacción entre aminoácidos para formar enlace peptídico, [29].

### 1.3.1 Características de las proteínas.

Por hidrolisis las moléculas de proteínas se dividen en numerosos compuestos que son la unidad de la molécula, los aminoácidos. Las proteínas se organizan dependiendo de su estructura, la cual viene definida por cuatro niveles denominados: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

- a) Estructura primaria: Contiene la secuencia de los aminoácidos, el número de aminoácidos. Como se muestra en la figura I.8.



- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Leu=Leucina.          | Gly=Glicina.          |
| Asp= Ácido aspártico. | Ile= Isoleucina.      |
| Arg=Arginina.         | Val=Valina.           |
| Pro=Prolina.          | Cys=Cisteína.         |
| Lys=Lisina.           | Glu= Ácido glutámico. |
| Phe=Fenilalanina.     | Gln=Glutamina.        |
| Tyr=Tirosina.         | Ala= Alanina.         |
| His=Histidina.        | Ser=Serina.           |
| Lys=Lisina.           | Asn=Aspargina.        |

Figura. I.8 Estructura primaria de las proteínas, [2].



b) Estructura secundaria: Forma en la que se pliega la cadena, es decir las conformaciones que toman en el espacio por repulsión de los aminoácidos hidrófobos, la atracción de aminoácidos y formación de puentes disulfuro. Existen dos tipos de estructura secundaria:  $\alpha$ -hélice y estructura  $\beta$ .

➤ Estructura  $\alpha$ -hélice.

Esta estructura se forma al enrollarse helicoidalmente sobre sí misma la estructura primaria, se debe a la formación de enlaces de hidrógeno entre el  $-C=O$  de un aminoácido y el  $-NH-$  del cuarto aminoácido que le sigue. Debido a los giros producidos en torno al carbono alfa, la cadena se enrolla en espiral y adopta una conformación denominada hélice  $\alpha$ . En la figura I.9 se representa la estructura secundaria  $\alpha$ -hélice.

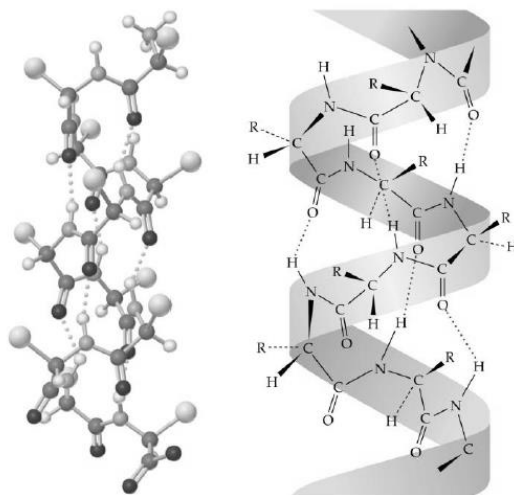


Figura. I.9 Estructura secundaria  $\alpha$ -hélice, [2].

➤ Estructura  $\beta$ .

Los aminoácidos no forman una hélice sino una cadena en forma de zig-zag, las cadenas laterales de los aminoácidos se sitúan de forma alternante a la derecha y a la izquierda, el giro beta permite un cambio de dirección de la cadena peptídica necesario para que adopte una estructura más compacta. Las hebras beta están representadas como flechas conectadas a través de dobles y giros beta como se representa en la figura I.10 [19].

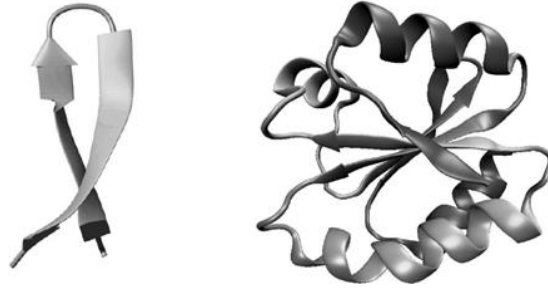


Figura. I.10 a) Giro  $\beta$ , b) Estructura secundaria beta de las proteínas, <sup>[2]</sup>.

c) Estructura terciaria: Es responsable de las propiedades biológicas, se distinguen dos tipos de estructuras terciarias: fibroso, globular <sup>[2]</sup>.

➤ Tipo fibroso.

Aquellas en las que las dimensiones pueden ser mucho mayores, un ejemplo puede ser: colágeno, queratina del cabello.

➤ Tipo globular.

Correspondiente a la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma originando una conformación globular, se mantiene estable debido a enlaces entre los radicales (R) de los aminoácidos los cuales son: enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno, unión iónica <sup>[20]</sup>.

d) Estructura cuaternaria: Agrupación de varias cadenas de aminoácidos en complejos macromoleculares, formado por enlaces débiles (no covalentes) de varias cadenas polipeptídicas con estructura terciaria. Cada una de las cadenas polipeptídicas recibe el nombre de protómero, el número de protómeros varía desde dos como es el caso de la hexoquinasa, cuatro como en la hemoglobina o varios como la cápsida del virus de la poliomiéltis que tiene sesenta unidades proteicas <sup>[20]</sup>. En la figura I.11 se aprecia la estructura cuaternaria de las proteínas.



Figura. I.11 Estructura Cuaternaria de las proteínas correspondiente a la hemoglobina <sup>[2]</sup>.

En proteínas de estructura terciaria tipo fibroso, la estructura cuaternaria resulta de la asociación de varias hebras para formar una fibra, la  $\alpha$ -queratina presenta tres hebras por cada fibra [27].

### 1.3.2 Proteína Queratina.

El término queratina proviene de la palabra griega “*keros*” que significa córneo. Es una proteína de estructura fibrosa, insoluble, con alto contenido en azufre y forma parte principal de la epidermis de los vertebrados, pelo, uñas y cuernos. Las proteínas están conformadas por 25 aminoácidos diferentes y de estos 18 forman parte de la proteína queratina en el cabello humano. La composición química de la proteína queratina es: cisteína, histidina, metionina y triptófano, las queratinas duras contienen entre un (15-18) % de azufre mientras que las blandas contienen (2-4) % [14].

Existen dos tipos de queratina en el cuerpo humano:

- La  $\alpha$ -queratina que es dura y conforma parte de las uñas y en su totalidad del cabello seco. El aminoácido cisteína se encuentra en abundancia en la  $\alpha$ -queratina y constituye parte de los enlaces disulfuro.
- La  $\beta$ -queratina es frágil y conforma parte de la epidermis [40].

De todos los aminoácidos presentes en el cabello, la cistina es uno de los más importantes ya que contiene dos aminoácidos de cisteína unidos por dos átomos de azufre formando un enlace fuerte conocido como enlace disulfuro. La proteína queratina mantiene la unión de sus aminoácidos por medio de enlaces peptídicos y la conformación más estable es la que permite mayor formación de enlaces de hidrógeno y enlaces disulfuro por lo que se encuentran aminoácidos con la conformación  $\alpha$ -L aminoácidos en las proteínas, como se muestra en la figura I.12 dos enantiómeros que puede formar cada aminoácido alrededor del átomo central de carbono. La molécula de uno es imagen especular del otro y no son superponibles, solamente los L-aminoácidos se fabrican en las células y se incorporan a las

proteínas, los D-aminoácidos se encuentran en las paredes de las células de las bacterias, pero no en las proteínas.

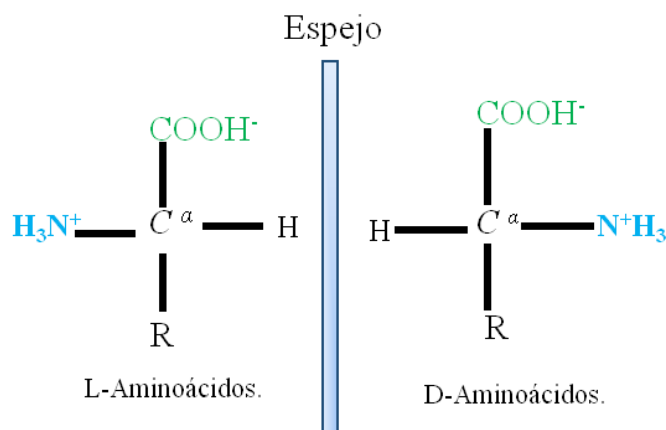


Figura. I.12  $\alpha$ - Aminoácidos L y D.

El cabello humano es una estructura integrada conformada por un (65–95) % de proteína donde sus componentes químicos actúan como unidad, el conjunto de propiedades físicas y químicas en el cabello humano son: resistencia a la fricción, tensión, suavidad, etc. Las características del cabello humano son derivadas de una secuencia de aminoácidos que se da en la estructura primaria de la proteína queratina. A continuación, se describe los principales aminoácidos que la conforman con sus estructuras, peso molecular y características.

➤ Glicina

Aminoácido con hidrocarburo alifático en el grupo radical, tiene un peso molecular de 75  $\frac{gr}{mol}$ , aminoácido no esencial es decir que el organismo los sintetiza, confiere propiedades de resistencia a la tensión, en la figura I.13 se encuentra la estructura de la glicina [8].



Figura. I.13 Aminoácido Glicina, [10].

➤ Fenilalanina

Aminoácido esencial con peso molecular de 165  $\frac{gr}{mol}$ , aminoácido apolar entre sus propiedades tiene la capacidad de absorber la luz ultravioleta, razón por la cual el cabello

humano no se deteriora con largas exposiciones al sol <sup>[18]</sup>. En la figura I.14 se muestra la estructura del aminoácido.

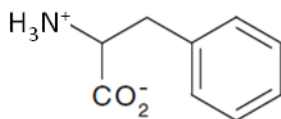


Figura. I.14 Aminoácido Fenilalanina, <sup>[10]</sup>.

➤ Alanina

Aminoácido no esencial con peso molecular de  $89 \frac{gr}{mol}$ , la alanina es un aminoácido con propiedades hidrofóbicas. El cabello puede absorber en su mayor parte agua, pero una vez seco es solo humedad lo que retiene, para efectuar la extracción de la proteína queratina se requieren métodos que involucren un hidrolisis, por el comportamiento hidrofóbico que presenta por parte de la alanina <sup>[18]</sup>. Se muestra a continuación la estructura del aminoácido en la figura I.15.

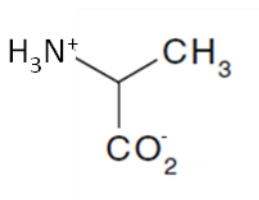


Figura. I.15 Aminoácido Alanina, <sup>[10]</sup>.

➤ Ácido Aspártico

Aminoácido con un peso molecular de  $133 \frac{gr}{mol}$ , es un aminoácido no esencial por lo cual el organismo lo sintetiza, es polar sin carga negativa y conforma parte las principales amidas libres en el cabello humano. Aporta resistencia a la degradación fotoquímica por lo cual favorece a una foto protección, así como a la degradación del cabello por exposición al sol <sup>[18]</sup>. En la figura I.16 se muestra la estructura del aminoácido.

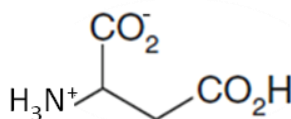


Figura. I.16 Aminoácido Ácido aspártico, <sup>[10]</sup>.

➤ Lisina

Conforma parte de los aminoácidos básicos, su peso molecular es de  $146 \frac{gr}{mol}$ , es un aminoácido esencial. Tiene carga positiva y un grupo amino protonable que actúa para formar puentes de hidrogeno, su estructura molecular es la siguiente en la figura I.17 [8].

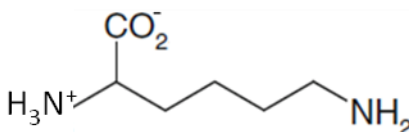


Figura. I.17 Aminoácido Lisina, [10].

➤ Cisteína

Por último pero no el menos importante, la cisteína es un aminoácido abundante en la queratina con un peso molecular de  $121 \frac{gr}{mol}$ , es susceptible a la oxidación y a partir de la oxidación de dos moléculas de cisteína forma el aminoácido cistina con un peso molecular de  $240 \frac{gr}{mol}$  y con un puente disulfuro. Este aminoácido forma enlaces difíciles de romper, le provee al cabello una estructura estable, fuerte y es la responsable del crecimiento del cabello [8]. En la figura I.18 se muestra la estructura del aminoácido cisteína y en la figura I.19 se presenta la estructura del aminoácido cistina.

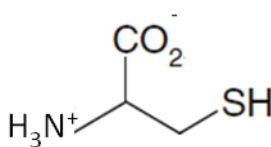


Figura. I.18 Aminoácido Cisteína, [10].

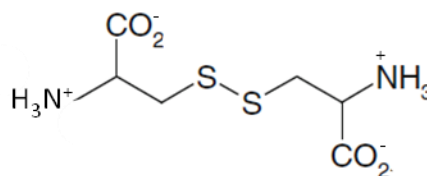


Figura. I.19 Aminoácido Cistina, [10].

La proteína queratina se caracteriza por su alto contenido en cistina, es insoluble en agua y la resistencia que tiene el cabello se debe a que este aminoácido contiene dos grupos amino y dos carboxílicos unidos mediante un enlace disulfuro.

La estructura de la  $\alpha$ -queratina es de forma helicoidal por los enlaces polipeptídicos y contiene de 3 a 5 aminoácidos por vuelta de hélice, cada vuelta que da la hélice está en relación a la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos carbonilo y amino [25]. Lo anterior se representa en la figura I.20 dónde se puede apreciar los enlaces que se forman en la estructura de la queratina.

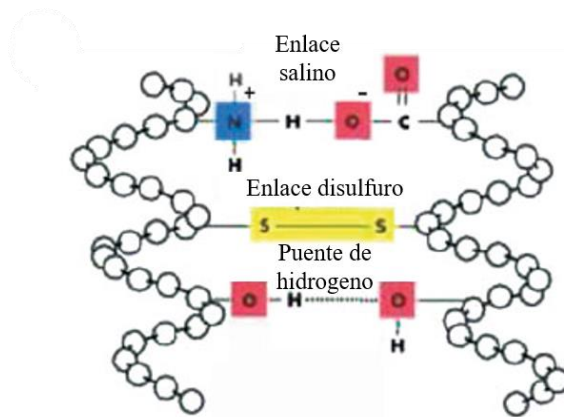


Figura. I.20 Forma helicoidal de la  $\alpha$ -queratina, [4].

- *Estructura de la queratina.*

a) Estructura primaria: Es la estructura primordial para su forma tridimensional, cualquier modificación puede ocasionar un cambio en la estructura tridimensional y afectar la función biológica [8]. En la figura I.21 se presenta la estructura anteriormente mencionada y se puede observar la secuencia de los aminoácidos.

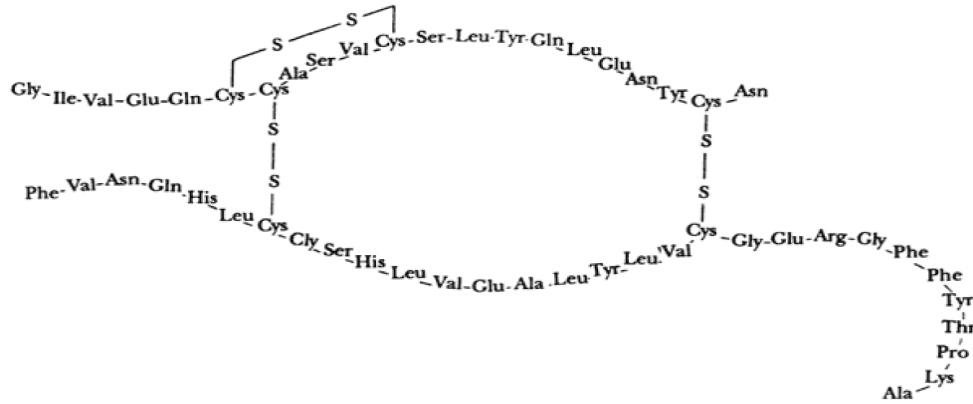


Figura. I.21 Estructura primaria de la queratina, [2].

Los aminoácidos más abundantes en la queratina son: Glicina con un 21.5 % (Gil), Fenilalanina 3.9 % (Fen), Alanina 11 % (Ala), Ácido aspártico 9.3 % (Asp), Cisteína 12.2 % (Cys), Lisina 7.3 % (Lis), Prolina 2.3 % (Pro), Valina 4.2 % (Val), Leucina 3.2 % (Leu), Isoleucina 1.2 % (Ile) Treonina 4.8 % (Tre), Otras.19.1 %.

b) Estructura secundaria: Mientras la cadena de aminoácidos va formando puentes de hidrógeno, entre el hidrogeno de un aminoácido y el oxígeno del carboxilo de otro, como se muestra en la figura I.22 la estructura  $\alpha$  y la estructura  $\beta$ .

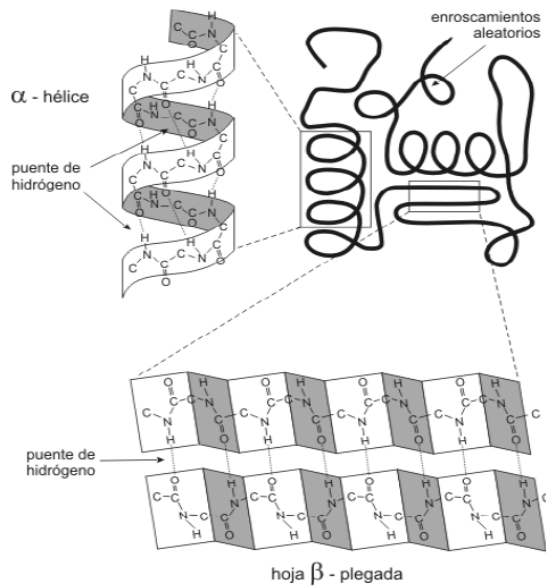


Figura. I.22 Estructura secundaria en  $\alpha$ -hélice en la parte superior y en la parte inferior estructura en hoja- $\beta$  plegada de la queratina, [2].



c) Estructura terciaria: Debido a la interacción de los grupos radical (R) de los aminoácidos la cadena se pliega una estructura terciaria, esta estructura se presenta en la figura I.23 a continuación.

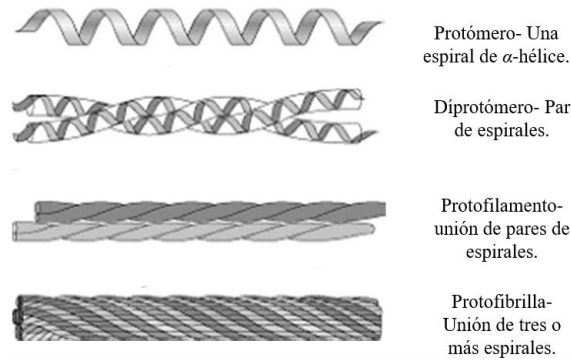


Figura. I.23 Estructura de la queratina, [2].

Los protómeros se unen para formar dímeros, el dímero es un helicoide enrollado y la asociación de 2 helicoides enrollados da lugar a un protofilamento y 4 protofilamentos forman la protofibrilla. En la figura I.24 se observa la estructura del cabello las principales fibras antes mencionadas.

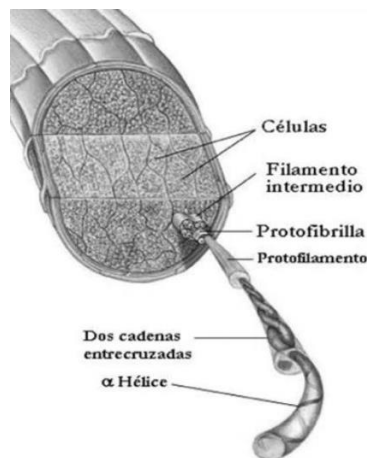


Figura. I.24 Representación de las fibras en el cabello, [2].

La queratina puede presentar diferentes enlaces y cada uno aporta a la estructura del cabello características, propiedades físicas y químicas. Los enlaces que se forman dentro de la proteína son:

- Enlaces amídicos: Unen un aminoácido con otro para formar la cadena principal y se rompen con soluciones acuosas concentradas de ácidos y bases fuertes.

- Puentes hidrógeno: Se forman entre un aminoácido y otro por atracción de átomos con polaridad negativa a la polaridad positiva del hidrógeno.
- Enlaces disulfuro: Unión de dos átomos de azufre presentes en la cisteína formando la molécula cistina.
- Puentes salinos: Se forma entre ácidos y bases de las cadenas laterales y origina una atracción de sus cargas electromagnéticas.

Al realizar una hidrólisis ácida a la queratina, los enlaces disulfuro de la cistina producen la cisteína y ácido sulfénico como se muestra en la figura I.25.

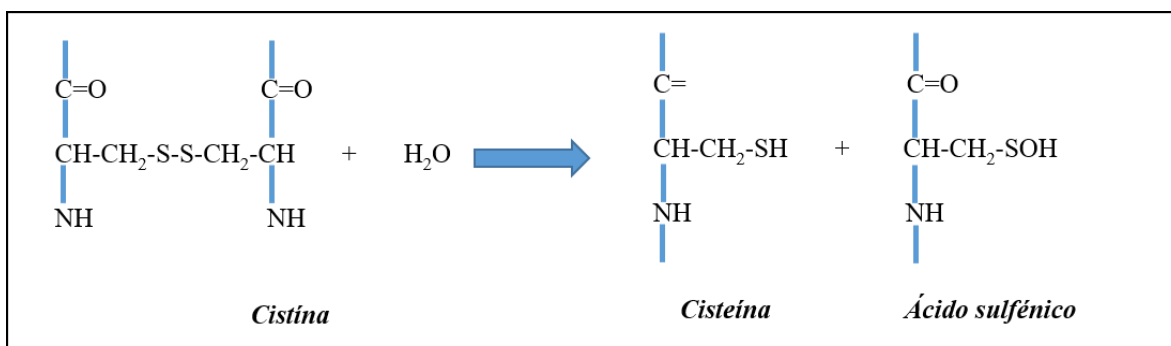


Figura. I.25 Reacción de formación de Cisteína.

Algunas de las propiedades de la queratina son: alta resistencia mecánica, térmica, alta flexibilidad, baja densidad, biodegradable y biocompatible. Debido a sus características la queratina ha sido aprovechada en diferentes campos como: medicina, industria alimenticia e industria del plástico. Algunas de las aplicaciones de la queratina son:

En cosmetología, la queratina forma parte de tratamientos capilares, protege el interior del cabello e influye en el brillo y reparación de la cutícula dañada<sup>[40]</sup>. En la industria alimenticia, la queratina extraída de las plumas es un recurso alimenticio pues se puede transformar en proteína digestible supliendo las necesidades de la alimentación en la industria ganadera. Otras aplicaciones han sido su extracción para aplicarla como abono para la producción orgánica de ciertos alimentos como el rábano.

En la salud, se utiliza actualmente para elaborar diferentes tipos de biomateriales, un ejemplo es el desarrollo de apósitos para la curación de las heridas donde aún siguen sus estudios para la innovación de este tipo de tecnologías. También existen geles y cremas donde se aplican sobre la piel para la producción del colágeno.

#### **1.4 Biomateriales para curación de heridas.**

En los últimos años las investigaciones más recientes se han centrado en el desarrollo de apósitos a partir de biopolímeros para atender las diferentes necesidades de curación de heridas o regeneración de piel. Los biopolímeros son aquellos que son sintetizados por organismos y los biopolímeros biodegradables son aquellos que al ser producidos por organismos pueden ser descompuestos por otro organismo. Actualmente los campos de estudio ambiental, biomedicina, bioingeniería e ingeniería de tejidos están en apogeo; en la cual los investigadores se han enfocado en dicha fabricación de nuevas tecnologías por las características que posee de mayor biocompatibilidad y por ser una alternativa ante los materiales derivados de petróleo.

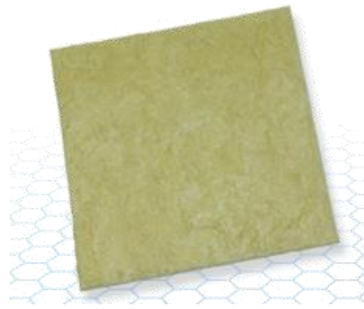
Los biomateriales se pueden definir como materiales biológicos que reemplace la función de los tejidos u órganos vivos, estos biomateriales son temporales o permanentes. Los biomateriales de origen natural como lo pueden ser de proteínas, han sido ampliamente investigados para aplicaciones biomédicas como: cicatrización de heridas, odontología e ingeniería de tejidos debido a su compatibilidad, biodegradabilidad y propiedades similares a los tejidos humanos <sup>[34]</sup>.

- *Tipos de biomateriales para la regeneración de piel.*

Una posible alternativa para el tratamiento de lesiones hoy en día son los aloinjertos que son tejidos trasplantados de una persona a otra; representa una posibilidad de alto costo, poca disponibilidad y una posible transmisión de enfermedades por lo cual actualmente se han desarrollado materiales poliméricos que funcionan como: matriz celular, factor de crecimiento y brinda protección; además de cumplir con los requisitos de un biomaterial, los cuales son: no ser tóxico, ser biocompatible, tener una resistencia mecánica adecuada y ser fácil de fabricar <sup>[33]</sup>. Dichos materiales poliméricos biocompatibles son por ejemplo los apósitos empleados para el tratamiento de quemaduras de espesor parcial, es decir que se ven afectadas las primeras dos capas de la piel: la epidermis y la dermis, se puede categorizar en base a los materiales empleados para su fabricación. Estas categorías pueden ser láminas (películas o apósitos laminares), espumas, hidrogeles, spray y los andamios poliméricos; todos estos de origen natural considerados adecuados para la curación de heridas. Un apósito

apropiado es capaz de mejorar el proceso natural de cicatrización que considerablemente puede ser benéfico para todas las etapas de cicatrización.

Un apósito laminar se define como un material empleado para cubrir, proteger y curar heridas de un tejido dañado, en este caso un biomaterial polimérico <sup>[32]</sup>. En la figura I.26 se observa un apósito elaborado por la empresa Molecular Biologicals.



*Figura. I.26 Apósito laminar Keramatrix de queratina de Molecular Biologicals, <sup>[30]</sup>.*

Los apósitos efectuados en el siguiente proyecto son láminas con característica de un hidrogel con polímeros insolubles como la queratina dónde proporciona un ambiente húmedo y con capacidad de favorecer la migración celular de los queratinocitos acelerando la cicatrización. Otros productos son aquellos en base de poliuretano elaborados por Molecular Biologicals Skin & Wound care denominados Kerasorb, son películas transparentes y permeables para un exudado de mayor magnitud y pueden permanecer hasta más de 3 días en la herida, liberando la sustancia activa para la cicatrización y absorbiendo el exudado que se forma con el tiempo. Aquellos productos que consisten en hidrocoloides que contienen diversos constituyentes como carboximetil celulosa de sodio.

- *Cicatrización de la herida.*

La piel es el órgano más grande de los organismos vertebrados con una compleja estructura, este órgano cumple con diferentes factores biológicos como: la regulación de temperatura, soporte de vasos sanguíneos, prevención de deshidratación y así como barrera externa de defensa contra organismos patógenos. Una herida es una perturbación de la estructura anatómica y fisiológica normal de un tejido, y representa un daño a las barreras naturales de defensa contra agentes extraños <sup>[15]</sup>.

La cicatrización de las heridas es un proceso biológico complejo que implica la interacción entre diferentes tipos de células, este tipo de proceso es frágil y susceptible a ser interrumpido lo que da como resultado la formación de heridas crónicas con problemas de cicatrización. Las principales etapas de la cicatrización son:

- Fase inflamatoria: Elimina bacterias y se emiten los factores para la proliferación y migración de las células como plaquetas, linfocitos.
- Fase proliferativa: Aumenta el colágeno, formación de tejido granular y la epitelización. Las células que actúan son los fibroblastos que forman el tejido granular, los queratinocitos encargados de estimular el crecimiento de células epiteliales que se encargan de cubrir la herida ayudando a reducir el tamaño de la herida.
- Fase maduración: Comienza a cerrarse la herida y contraerse, realineando los tejidos y las células con la secreción de colágeno mediante células denominadas miofibroblastos y macrófagos.

Algunas de las limitaciones de los biomateriales es la profundidad de la quemadura o lesión, ya que el exudado crítico puede perjudicar las superficies epitelizadas y retrasar la curación. Las lesiones por quemaduras pueden segregar grandes cantidades de líquido o perder grandes cantidades de líquido por evaporación, debido a esto los apósitos deben absorber el líquido restante, de igual forma debe mantener un porcentaje de humedad apropiado en la lesión para favorecer la granulación y ayudar a la epitelización evitando una infección.

La humedad en la curación de heridas juega un papel importante que depende de cada persona. Un apósito laminar tiene una capacidad de retención de humedad que depende del material con el que está hecho, también el porcentaje de humedad dependerá del historial clínico y características fisiológicas del paciente. Por tanto, los apósitos deben tener una barrera a las bacterias para prevenir una infección o prevenir que por medio de la lesión se transmita una infección, intercambio gaseoso, proporcionar aislamiento térmico, así mismo que estos apósitos puedan adaptarse al movimiento continuo de las personas.

Las películas de queratina elaboradas son delgadas y bajo un vendaje que proporcione presión favorecerá la granulación y que el paciente se acople sin provocar comezón o molestias.

## **CAPÍTULO II . ESTUDIO DEL ALMIDÓN.**

Los polímeros naturales han sido tema de investigación en los últimos años para evaluar sus distintas aplicaciones. El presente capítulo recaba la investigación bibliográfica realizada acerca del almidón, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como los almidones modificados para aumentar sus propiedades y disminuir sus limitaciones.

Se realizó esta investigación y análisis de sus propiedades para entender su participación dentro del proceso de elaboración de la fórmula del apósito laminar de queratina.

### **2.1 Biopolímero.**

Un biopolímero es una macromolécula que posee características estructurales que se repiten y que es sintetizada de un proceso biológico <sup>[9]</sup>. Los biopolímeros biodegradables surgen de elementos producidos por organismos vivos y este puede ser descompuesto por otro organismo, también son conocidos como polímeros renovables. Se pueden clasificar en dos tipos: derivados de organismos y sintetizados de un recurso <sup>[28]</sup>. Algunos biopolímeros derivados de organismos son: queratina, colágeno, almidón, quitosano, etc.

El almidón es un biopolímero mezcla de dos polisacáridos: la amilosa que constituye un 20 % del almidón y el 80 % lo constituye la amilopectina <sup>[22]</sup>.

### **2.2 Tipos de almidón.**

El almidón es un biopolímero de origen vegetal; las plantas, tubérculos y semillas producen almidón y lo utilizan para obtener energía de los carbohidratos que almacenan en las raíces. Todos los almidones están compuestos por dos fracciones de polisacáridos y la función de un polisacárido es almacenar energía, el almidón proporciona alrededor de un 70 % a un 80 % de energía, es un polímero natural que se encuentra en forma de gránulos. Estos gránulos consisten de macromoléculas ordenadas en capas y existen diferentes gránulos de almidón derivados de su origen, los tipos de almidón más comunes son: maíz, papá, arroz, tapioca y avena. Cada granulo de almidón dependiendo de su origen cuenta con sus características de tamaño, forma, composición, proceso de absorción de agua y proceso de gelatinización.

Los almidones comerciales se obtienen de semillas de cereales como lo es el maíz, trigo, arroz y algunas raíces y tubérculos como la papa. Los almidones contienen pequeñas cantidades de grasa, estos lípidos se encuentran en una proporción de (0.5– 1) % y son generalmente polares por lo que necesitan disolventes polares tales como, metanol-agua para su extracción. La tabla II.1 muestra los valores de porcentaje de cada uno de los polisacáridos que conforma el almidón de: maíz, trigo y arroz.

*Tabla II.1 Composición de diferentes tipos de almidón, <sup>[24]</sup>.*

<i>Tipo de almidón</i>	<i>% Amilosa</i>	<i>% Amilopectina</i>
Maíz	26	74
Trigo	25	75
Arroz	17	83

- *Almidón de maíz.*

La cantidad de almidón que el maíz contiene es de (50-60) %, se encuentra en la cubierta de los granos de maíz y para extraerla es necesario moler los granos. Sus gránulos son de forma poliédrica y pequeños, contiene el polisacárido amilosa en un 25 % y la amilopectina en un 75 %. La conformación de los cristales pequeños y perfectos hace que el proceso de gelatinización sea lento y se requieran altas temperaturas, la temperatura requerida para la gelatinización del almidón de maíz es de 80 ° C.

Para la obtención del almidón de maíz es importante dejarlos en maceración ya que en la cubierta del grano contiene las propiedades y componentes, el proceso por el que pasa posteriormente es la molienda para formar una emulsión y separar el almidón de los demás componentes como proteínas y lípidos que hay dentro de esta mezcla. El almidón se separa de la mezcla y pasa por un proceso de secado, el color del producto final del almidón de maíz es claro amarillo <sup>[26]</sup>.

En función de la proporción de amilosa y amilopectina de cada tipo de almidón tendrá tres características individuales principales: absorción de agua, proceso de gelatinización y sus propiedades funcionales, esta composición influye directamente en las capacidades funcionales de cada uno. La tabla II.2 muestra las propiedades funcionales de diferentes tipos de almidón.

Tabla II.2 Composición de diferentes tipos de almidón, <sup>[12]</sup>.

<b>Propiedades funcionales de los diferentes almidones.</b>				
	Fécula de Papa	Almidón de Maíz	Almidón de trigo	Fécula de tapioca.
Color	Blanco	Amarillento	Amarillento	Blanco
Tamaño de partícula, µm	5-100	2-30	1-46	4-35
Humedad %	18-20	11-13	11-13	13-15
Fósforo %	0.08	0.02	0.06	0.01
Proteína %	0.1	0.35	0.4	0.1
Grasa %	0.005	0.8	0.9	0.1
Amilosa %	20	27	28	17
Transparencia	Muy Claro	Opaco	Opaco	Claro
Retrogradación	Media	Alta	Alta	Baja
Resistencia Mecánica	Media-baja	Media	Media	Baja
Textura	Larga	Corta	Corta	Larga
Temp. °C de Gelatinización.	58-65	75-80	80-85	60-65
Pico de viscosidad.	800-2000	200-800	100-300	300-100



### 2.3 Almidón de maíz.

El siguiente apartado presenta las características y propiedades del almidón de maíz empleado. Se realiza un análisis y se explica cuál es su función dentro de la formación de los apósitos laminares ya que en los últimos años ha sido un tema de investigación por su gran campo de aplicación como: sustituir las bolsas de los supermercados con bolsas hechas a partir de almidón modificado.

Para llevar a cabo la formulación de las películas de queratina se utilizó almidón de maíz elaborado por Ingredion S.A de C.V. con una composición química de 22.7 % de amilosa y 77.3 % de amilopectina. La empresa Ingredion proporciono el almidón de maíz para apoyar las evaluaciones que este proyecto realizó con fines de investigación.

- *Características químicas.*

El almidón de maíz está compuesto por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. Las propiedades fisicoquímicas y funcionales se encuentran directamente relacionadas con su estructura y composición, estas propiedades cambian del almidón de maíz azul y el blanco, el grano azul es suave y el blanco es duro. La composición química del almidón de maíz es de un 26 % de amilosa y un 74 % de amilopectina.

La amilosa es una estructura lineal con enlaces  $\alpha$ -1,4 y es la parte soluble en agua, la figura II.1 muestra la estructura de la amilosa.

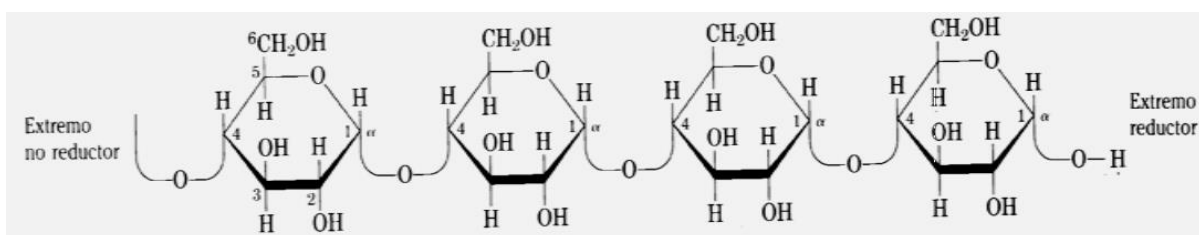


Figura. II.1 Estructura de la macromolécula amilosa, [12].

La naturaleza lineal de la amilosa le permite disponerse en forma helicoidal con 6 monómeros de glucosa por cada vuelta de hélice, en el exterior cuenta con grupos hidroxilos y en el interior contiene átomos de hidrógeno.

La amilosa tiene un comportamiento lipofílico, forma una estructura resistente y como resultado deriva a un proceso lento de gelatinización [37]. La amilopectina es una estructura ramificada unida por enlaces  $\alpha$ -1,4 y ramificaciones unidas por enlaces  $\alpha$ -1,6. En la figura II.2 se presenta la estructura de la amilopectina.

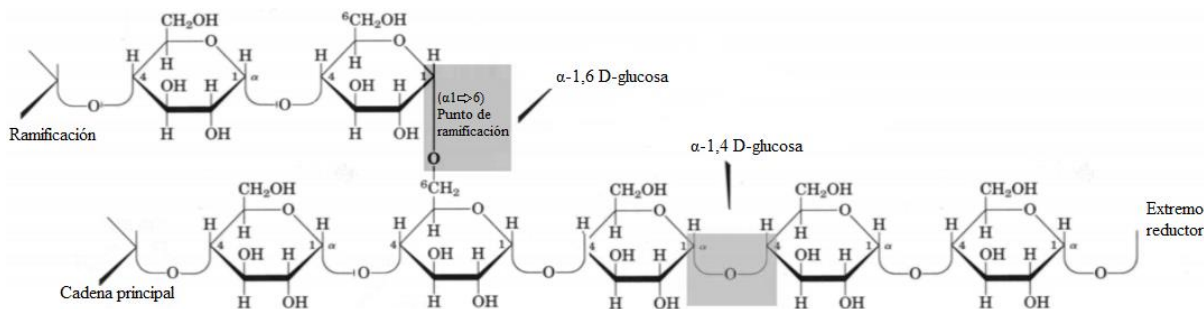


Figura. II.2 Estructura de la amilopectina, [12].

Las ramificaciones de las moléculas están en forma de racimos, su estructura se dispone de dobles hélices ordenadas de forma paralelas como se observa en la figura II.3. Al contrario de la amilosa es insoluble en agua, constituye un mayor porcentaje del almidón, forma una estructura cristalina y es la responsable de formar el gel, el 70 % de la masa de un grano de almidón es considerado amorfo y el 30 % es cristalino, la zona cristalina del granulo está conformada por amilopectina [3].

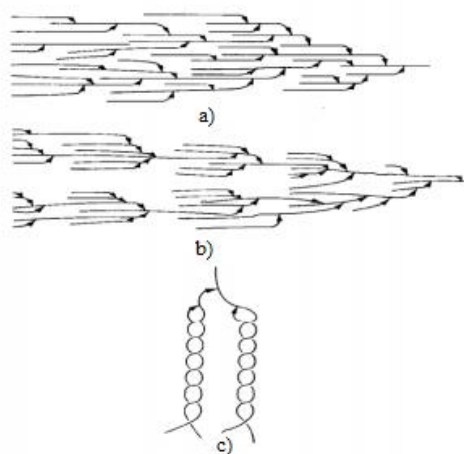


Figura. II.3 Ramificación de la amilopectina, a) y b) modelos estructurales de hélices paralelas, c) fragmento aumentado de a) o b), [12].

Siendo así, las características del almidón de maíz son: su estructura semicristalina y altamente organizada por la cual los gránulos del maíz son insolubles en agua, pero tienen la

particularidad de absorber el 20 % de su peso de agua. Al aumentar la temperatura alrededor de los 60 ° C y comenzar el proceso denominado engrudo de almidón los gránulos de almidón se hinchan.

- *Gelatinización.*

La gelatinización es el proceso dónde los gránulos de almidón absorben agua en las zonas amorfas, a medida que se calienta la mezcla se hinchan reteniendo agua y como resultado se obtiene un gel o una pasta altamente hidratada. Las zonas amorfas son las menos organizadas y más accesibles del granulo, en este proceso los gránulos grandes son los primeros en gelatinizar.

Debido a su estructura molecular altamente organizada y cristalina son insolubles en agua, derivado de esto posee un proceso de gelatinización lento para alcanzar la temperatura de gelatinización que oscila entre (75-81) ° C. Este proceso de absorción de agua es irreversible porque los gránulos de almidón pierden su estructura cristalina <sup>[21]</sup>, la ruptura de los enlaces dentro de la estructura da como resultado la pérdida de propiedades como la birrefringencia y en alimentos como tortillas, pan, pastas y salsas dependen del hinchamiento de los gránulos para su conservación.

El porcentaje de humedad de los gránulos de almidón apropiado es de un (15-20) % por lo que durante el proceso de gelatinización es importante la relación de agua almidón, ya que, si se encuentra en proporciones elevadas la cantidad de agua dentro de la mezcla, será necesario elevar la temperatura a la de ebullición del agua conllevando a la degradación de la estructura del almidón afectando sus propiedades, este proceso no solo depende de la relación de agua si no también están otros factores como pH, concentración de almidón y la presencia de lípidos.

La gelificación es un proceso que forma un gel y no se produce hasta que se enfría el almidón gelatinizado, a diferencia de la gelatinización dónde se rompen enlaces de hidrógeno en la gelificación se forman puentes de hidrogeno y son capaces de retener agua.

La retrogradación se define como la insolubilización y la precipitación de las moléculas de amilosa, se alinean paralelamente formando puentes de hidrogeno a través de sus múltiples hidroxilos.

- *Aplicaciones del almidón.*

Tanto los almidones nativos como los almidones modificados tienen una gran variedad de aplicación, son utilizados como aditivos en productos alimenticios confiriéndole características como: espesantes, aglutinantes, estabilizantes, humectante, texturizante, agente anti-envejecimiento en el pan; por ejemplo: las mermeladas, mayonesa, yogurt, etc.

El almidón por su característica viscosa se emplea en la elaboración de pastas, geles y por la claridad u opacidad en algunos de ellos puede emplearse en farmacéutica para tabletas aglutinantes o comprimidos farmacéuticos. Los almidones modificados aplicados en el sector alimenticio actúan como emulsificante para la elaboración de mayonesa y salsas, también es empleado para reemplazar la caseína en el queso y proporcionarle firmeza y textura. En la repostería por su claridad y estabilidad ante el frío y formar geles en frío es empleado como fijador de sabor y para la elaboración de diferentes cremas pasteleras.

Fuera del sector alimenticio, el almidón es empleado dentro de la industria papelera como aditivo para proporcionar fuerza al papel y recubrimiento hidrofóbico al papel y cartón; en la industria de adhesivos los almidones carboximetilados se utilizan para la fabricación de engrudo, el adhesivo que es empleado para fijar carteles a los muros y adhesivos para el etiquetado de botellas; en la industria cigarrera y en la industria petrolera incluso se llega a emplear el almidón modificado para controlar la pérdida de fluidos <sup>[1]</sup>.

Es un termoplástico de bajo costo, puede emplearse como aditivo para fabricación o sustitución de plásticos por su degradación acelerada, actualmente en las industrias de botellas que participan por un ambiente más verde, elaboran botellas transformando el polímero con almidón modificado para elaborar una botella biodegradable. Los almidones modificados también son utilizados en la industria de textiles como agentes espesante de los colorantes <sup>[1]</sup>.

Es considerado para la elaboración de películas de queratina por su bajo costo, biodegradabilidad y biocompatibilidad, sin embargo, es susceptible a la humedad por lo que plastificantes naturales como glicerina se añadieron a la elaboración de la película para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas. También ha sido utilizada el agua como plastificante para mejorar las propiedades del almidón.

Este tipo de almidón permite efectuar modificaciones a la formulación de la película con el propósito de mejorar sus propiedades y la capacidad de liberar el fármaco (queratina) para aplicaciones médicas <sup>[7]</sup>.

- *Aplicaciones de investigación de almidón.*

Debido al origen natural del almidón diversas investigaciones sugieren que puede ser empleado para aplicaciones biomédicas puesto que diferentes polímeros de origen natural llegan a ser biocompatibles. Dentro de investigaciones realizadas se plantea el uso de almidones de origen andino para preparar bioplásticos que funcionen como compuesto en el desarrollo de aplicaciones médicas empleando nano partículas de almidón y quitina. Este tipo de proyectos con alta tecnología para la aplicación biomédica continúa en estudio debido a las diferentes modificaciones que se realizan.

Entre otros estudios realizados, Romina Rodríguez (2015) mediante un sistema patentado realizó la unión de los gránulos de almidón con proteínas, antígenos, enzimas y anticuerpos. Una de las aplicaciones más interesantes es el almidón como vehículo de vacunas orales, se logró vincular por medio de su sistema patentado los gránulos de almidón a las proteínas de tuberculosis y tétanos logrando a travesar el tracto intestinal sin degradarse. Por medio de este estudio se enlaza el almidón a la proteína de forma controlada sin perjudicar o dañar la salud del ser humano por ser de origen natural.

Actualmente la UNAM busca desarrollar e innovar este sistema patentado en conjunto con el Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB) para brindar características microbianas a los gránulos de almidón, con el fin de mejorar los procesos de purificación de proteínas y acoplarlos como agente terapéutico, diseñando un sistema de purificación de proteínas.

Uno de los pasos esenciales dentro de esta investigación es la purificación de las proteínas empleando el sistema elaborado por la Dr. Romina ya que este proceso es costoso y con el sistema patentado se puede limpiar la proteína a una eficiencia alta y un bajo costo permitiendo unir la proteína al almidón para desarrollar una vacuna para enfermedades.

La investigación realizada por Héctor S. Villada (2016) en la elaboración de bioplásticos, se evalúa que, para la formación y procesamiento del almidón nativo en un bioplástico, es necesario romper y fundir la estructura semicristalina. El agua y el glicerol son los

plastificantes generalmente empleados porque facilitan la movilidad de las cadenas poliméricas. En la reciente investigación han apuntado a la interacción del almidón con plastificantes no acuosos como: glucosa, compuestos nitrogenados y ácidos grasos; ya que estos disminuyen la absorción de agua lo cual evita que el material sea frágil, además de las propiedades de esfuerzo y elongación se mantiene constantes entre los (25-30) días. A su vez se ha descrito que los procesos de retrogradación se deben a la absorción de agua-plastificante, además la elongación y un alto contenido de amilosa aumenta el esfuerzo y disminuye la concentración. Por consiguiente, se encuentra que el principal objetivo está en disminuir la sensibilidad a la humedad y retardar los procesos de retrogradación en este tipo de materiales biodegradables, dado que se requiere más estudios enfocados en la mezcla almidón plastificante para evitar la fragilidad y aumentar la rigidez.

Entre otras investigaciones se tiene que Fernández García (2014) realizó un estudio de los almidones en la construcción, sobre todo porque durante décadas el almidón ha sido utilizado en la formulación del hormigón y el mortero de cementos, estos requieren retener agua al menos un 95 % para facilitar el tiempo de trabajo. El almidón pre gelatinizado ayuda en el aglutinado de la mezcla y emplearse en otros materiales de construcción, así como el yeso. Estos materiales requieren de este tipo de almidones modificados porque aportan características con las que aumentan la facilidad de trabajo.

La aplicación de los almidones modificados tiene un futuro prometedor ya que en el sector de construcción se requiere mejorar estos estudios en la construcción, del mismo modo se investiga la viscosidad de los polímeros para mejorar su aplicación en la formulación de polímeros con almidón, entre otros.

### CAPÍTULO III . DESARROLLO EXPERIMENTAL.

La investigación se efectuó en las instalaciones de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, en los laboratorios de polímeros. En este capítulo se describe el equipo y material empleado por medio de flujogramas que contiene figuras de las actividades realizadas en el proceso experimental.

#### 3.1 Tipo de investigación.

La presente investigación es de carácter experimental ya que para efectuar la hidrolisis del cabello se efectúan modificaciones en las condiciones de la extracción de queratina como: temperatura, purificación de los cristales, concentración, cantidad de muestra de cabello, agitación; así como trabajar con registros y relación de variables de: temperatura, pH y concentración. El equipo y material empleado se especifica en la tabla III.1

*Tabla III.1 Especificación de materiales y equipo empleado.*

Material/Equipo	Marca	Pureza
Balanza Analítica.	VE-20V, cap. 500 g	NA
Vasos de Precipitados.	Kimax.	NA
NaOH	Hycel.	83% en escamas.
Parrilla de Calentamiento.	Thermo. Escala (0-360) °C.	NA
Potenciómetro.	Conductronic Rango de temperatura (0-100) °C	NA
Pipeta Graduada.	Kimax, cap.10 mL	NA
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Chemikalien.	50%
Ácido bórico	Barmont	93%
Glicerina	Industria Química de centro-IQC	87%
Estearato de magnesio	Alquimica	93%

### **3.2 Diagrama de flujo.**

A continuación, se describe los pasos para la extracción de la queratina y las actividades realizadas para la formación de las películas de almidón con el activo queratina.

El cabello empleado fue recolectado de estéticas sin hacer distinción de color de cabello, teñido o cano. Por medio de una hidrólisis ácida se logró disolver el cabello en ácido sulfúrico al 50% ( $H_2SO_4$ ). El pH se ajustó con una solución alcalina de hidróxido de sodio al 5% (NaOH) para favorecer la formación de cristales, el almacenamiento de los cristales libres de impurezas y secos se colocan en frascos ámbar.

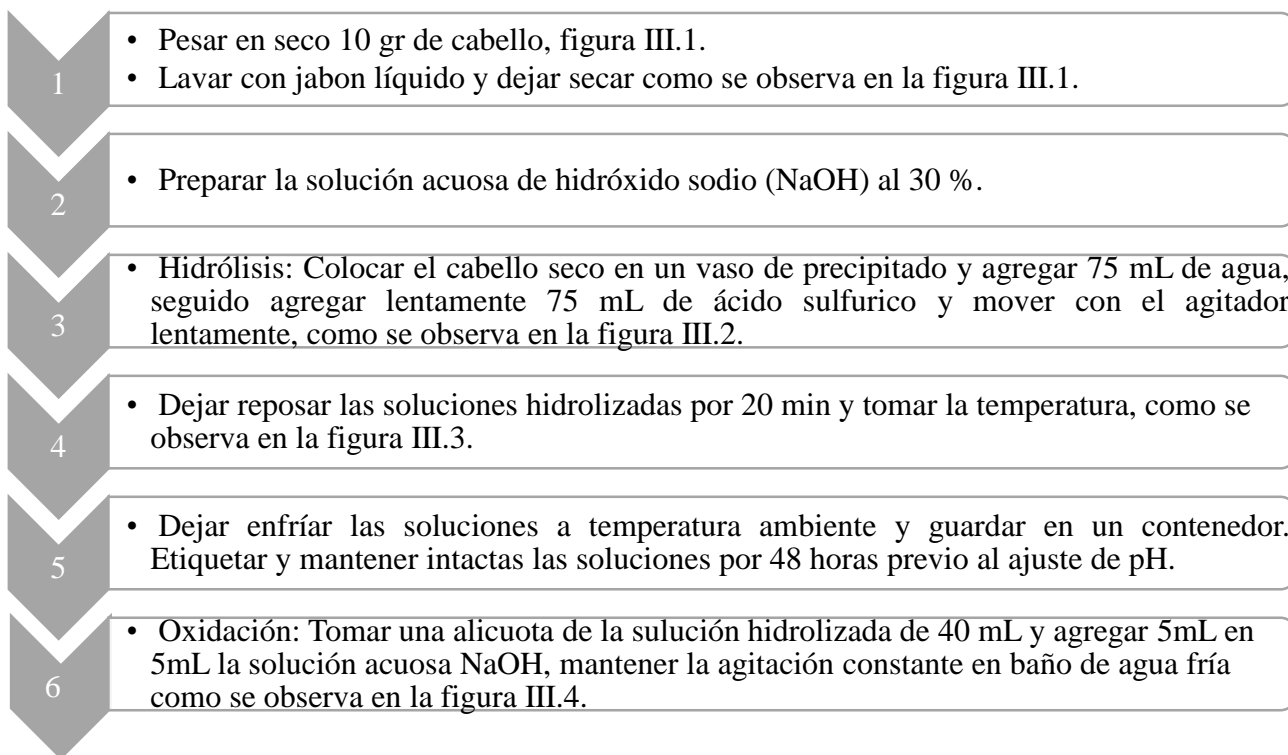
En la formación de películas de almidón se utiliza almidón de maíz elaborado por Ingredion S.A de C.V. con una composición química de 22.7 % amilosa y 77.3 % amilopectina. La formulación de las películas de almidón queratina requiere diversos reactivos y condiciones de trabajo los cuales son: agua, glicerina, queratina, estearato de magnesio, ácido bórico y desmoldante. Las condiciones de trabajo evaluadas para la elaboración son: control de la temperatura en la parrilla de calentamiento, agitación constante, temperatura adecuada en la estufa de curado y en los rodillos para la formación de láminas.

Las moléculas de queratina como las de almidón son macromoléculas que ocupan gran espacio y por consiguiente una molécula puede desplazar a la otra. El procedimiento efectuado para evitar dicho comportamiento es mezclar la glicerina con la queratina para que se acoplen, luego se procede a añadir los componentes restantes a la mezcla.

El diagrama de flujo de la experimentación que se observa a continuación, es el procedimiento resultante de los análisis realizados a las modificaciones de distintas variables involucradas en el proceso. El propósito es ejemplificar una a una de las actividades realizadas, para extraer, formular y elaborar las películas de almidón-queratina.



### Diagrama de flujo experimental.



a)



b)

Figura. III.1 a) 10 gr de cabello seco, b) Lavado y secado de cabello.



a)



b)

Figura. III.2 a) Cabello seco preparado para hidrolisis, b) adición de  $H_2SO_4$ .



Figura. III.3 Lectura de temperatura.



a)



b)

Figura. III.4 a) Ajuste de pH, b) pH en 4.

*Continuación Diagrama de flujo experimental*

- 7 • Oxidación: colocar el potenciometro y monitorear el ajuste de pH, luego continuar con la adición de la solución acuosa de NaOH hasta alcanzar un pH en 4. Controlar la temperatura no sea superior a los 30 ° C.
- 8 • Primera decantación: Dejar reposar durante 12 hrs, como se observa en la figura III.5.
- 9 • Primera extracción: Extraer el líquido que se encuentra en la superficie, como se observa en la figura III.6.
- 10 • Segundo Decantado: Dejar decantar durante 12 hrs más con el vaso de precipitado inclinado para extraer la mayor cantidad de líquido restante como se observa en la figura III.7.
- 11 • Primer lavado: Lavar con agua desionizada fría el sólido obtenido. Medir con el potenciometro el pH y ajustar el pH en 7 con solución acuosa de NaOH.
- 12 • Tercer decantado: Dejar reposar 12 hrs posterior al primer lavado y decantar el líquido restante en la superficie, como se observa en la figura III.8.



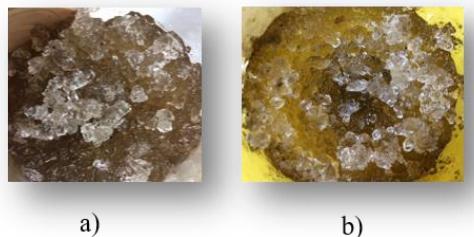
*Figura. III.5 Primer decantado.*



*Figura. III.6 Primer Extracción.*

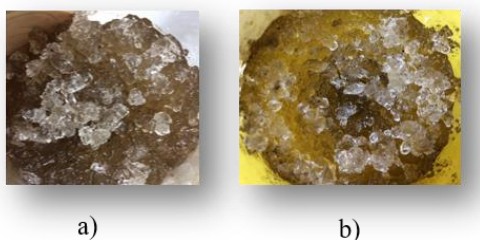
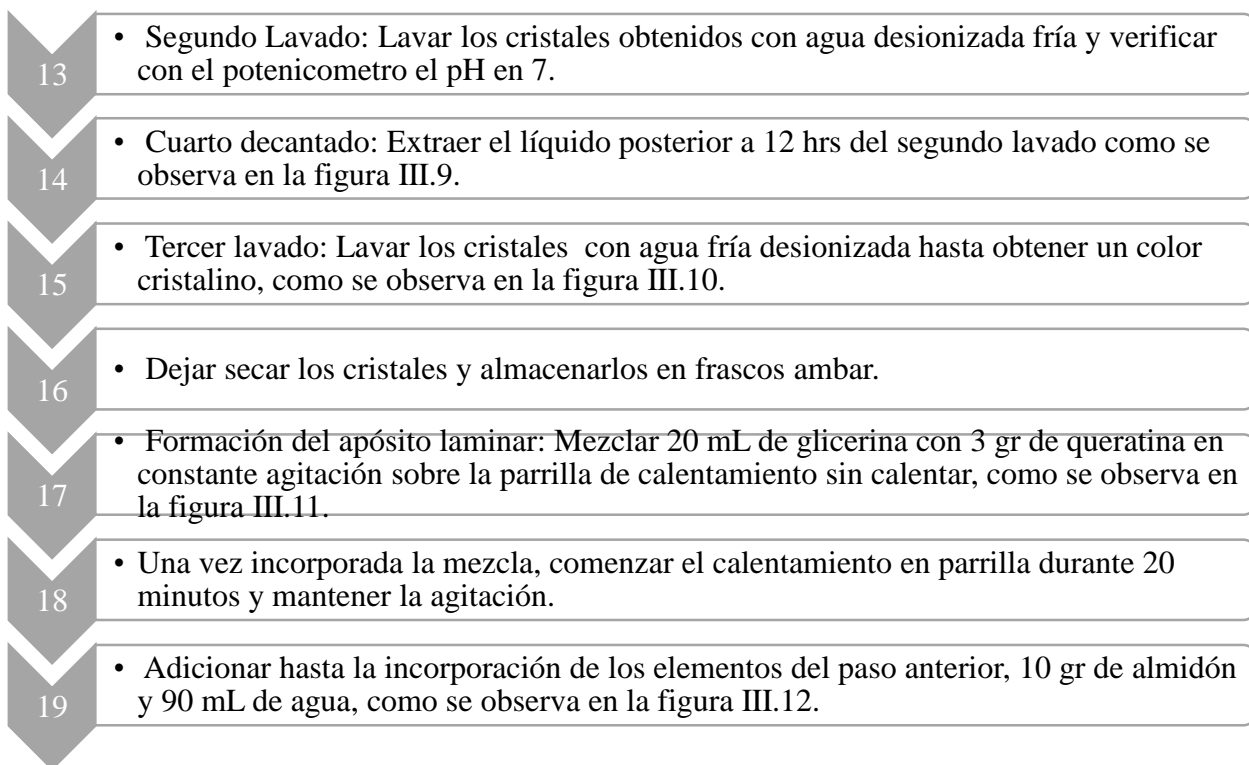


*Figura. III.7 Segundo Decantado.*



*Figura. III.8 a) Tercer decantado, b) Cuarto decantado.*

*Continuación Diagrama de flujo experimental.*



*Figura. III.9 a) Tercer decantado, b) Cuarto decantado.*



*Figura. III.10 Cristales purificados.*



*Figura. III.11 Acoplamiento glicerina y queratina.*



*Figura. III.12 Incorporación de Almidón y agua a la mezcla.*

*Continuación Diagrama de flujo experimental.*

- 20 • Posterior a 2 minutos de la incorporación de la mezcla, adicionar 2.5 gr de estearato de magnesio en calentamiento y agitación.
- 21 • Después de un minuto de adicionar el estearato, incorporar a la mezcla ácido bórico 8 gr.
- 22 • Continuar la agitación y calentamiento hasta la gelatinización y completar un tiempo de 20 min a 25 minutos a una temperatura de (80-84) ° C, como se muestra en la figura III.13.
- 23 • Preparación de la película: Colocar la mezcla sobre laminas de aluminio previamente lubricadas con desmoldante(aceite de maíz) como se muestra en la figura III.14.
- 24 • Calentar en el horno durante 7 hrs a 80 ° C para moldear posteriormete con los rodillos, con una consistencia final como se observa en la figura III.15.
- 25 • Colocar un poco de desmoldante sobre los rodillos y calentarlos a 40 ° C.

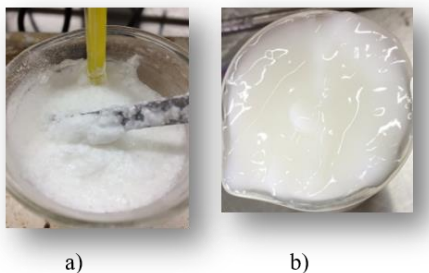


Figura. III.13 a) Mezcla con los reactivos incorporados, b) Mezcla final.



Figura. III.14 Lámina previo al curado.



Figura. III.15 Curado de lámina posterior a 7 horas.

*Continuación Diagrama de flujo experimental.*

26

- Pasar por los rodillos durante 10 minutos a una temperatura  $\leq 40^{\circ}\text{C}$  y formar las laminas como se muestra en la figura III.16.

27

- Realizar el proceso de curado: Llevar las laminas formadas durante 5 hrs a  $80^{\circ}\text{C}$  en el horno.

28

- Proceso teminado como se observa en la figura III.17.



*Figura. III.16 Lámina elaborada en rodillos lista para terminar curado.*



*Figura. III.17 Lámina final elaborada.*

## CAPÍTULO IV . ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Mediante diferentes muestras se evalúa las variables en el proceso para la extracción de queratina y formulación de láminas. Se analiza las características de obtención de los cristales y los efectos que tienen las variables en la obtención de cristales más puros y grandes.

La película de almidón con queratina se realizó bajo condiciones específicas de tiempo de curado y temperatura en el horno, los componentes que conforman la formulación de esta película son: glicerina, queratina, ácido bórico y estearato de magnesio. Para hacer posible la fabricación y garantizar las mejores condiciones de obtención se realizó una evaluación del comportamiento de cada uno de los diferentes reactivos, ya que cada uno confiere características como humectación, plastificación y elongación.

Las muestras efectuadas para conocer la formulación más apropiada se describen a continuación, el objetivo de evaluar el comportamiento de cada variable fue observar las características que aportaba cada uno.

### 4.1 Hidrolisis del cabello.

La hidrolisis del cabello se realiza en una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 50 %. La tabla IV.1 muestra la preparación de hidrolisis para 3 muestras.

*Tabla IV.1 Preparación de Hidrolisis de Muestras.*

MUESTRA	Cantidad de cabello [g]	Concentración de $H_2SO_4$ [%]	$H_2SO_4$ [mL]	$H_2O$ [mL]	Temperatura [°C]
<b>1</b>	10	60	60	40	65
<b>2</b>	10	70	70	30	54
<b>3</b>	10	50	75	75	51

Durante la hidrolisis de la muestra 1 se observa que existe desprendimiento de vapores, seguido la adición de la solución de  $H_2SO_4$  el cabello comenzó a disolverse rápidamente en un tiempo de 5 minutos y se disuelve por completo posterior a la adición total de  $H_2SO_4$ . La temperatura que alcanza al cabo de 20 minutos es de 65 ° C y el color un color café con tonalidades rojizas a la finalización del proceso.

Durante la adición de solución de  $H_2SO_4$  en la muestra 2, el cabello se disuelve en un tiempo de 7 minutos después de adicionar el  $H_2SO_4$ , en este proceso se observa la formación de

espuma de un color café con desprendimiento de vapores. En un tiempo de 20 minutos la temperatura registrada es de 54 ° C.

Para la muestra 3 que se realiza con 75 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 75 mL de H<sub>2</sub>O la solución del cabello fue progresiva y al final del procedimiento no se observa restos de cabello sin disolver, en un tiempo no mayor a 10 minutos se disuelve totalmente el cabello posterior a la adición total de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### 4.2 Formulación de película de almidón de maíz con queratina.

El proceso de formulación de las películas de almidón con queratina se realiza evaluando la influencia que tiene cada reactivo desde la elaboración de la mezcla hasta el curado de las películas de almidón obtenidas. Se evalúa el tiempo y la temperatura adecuada para su obtención. En la tabla IV.2 se realiza la evaluación del comportamiento de la glicerina.

Tabla IV.2 Evaluación de glicerina.

Componente	Almidón [g].	Agua [mL].	Glicerina [mL].	Estearato de Magnesio [g].	Ácido bórico [g].
Muestra					
<b>1</b>	10	90	20	4	7
<b>2</b>	10	90	10	4	7

La muestra 1 con 20 mL de glicerina formó mayor cantidad de espuma durante el proceso de elaboración de la mezcla, la incorporación completa de los reactivos requiere de 30 minutos. El color es de una tonalidad clara y blanca, el proceso de curado se efectuó en el horno a 70 ° C. La película de almidón se obtuvo en 27 horas; presenta las siguientes características: mayor elongación, textura suave, al contacto se percibe humectada y facilita la transformación en forma laminar.

Al disminuir la concentración de glicerina en la muestra 2 (10 mL) la película de almidón pierde humectación y al contacto la textura no es suave, no tiene elongación y se fisura fácilmente, el curado es homogéneo y se pierde la humectación, presenta fisuras y la consistencia es sólida.

Tabla IV.3 Evaluación de estearato de magnesio.

Componente	Almidón [g].	Agua [mL].	Glicerina [mL].	Estearato de Magnesio [g].	Ácido bórico [g].
Muestra					
<b>1</b>	10	90	20	4	7
<b>2</b>	10	90	20	2.0	7

Con la cantidad de estearato de magnesio de la muestra 1 la película de maíz presenta menor elongación, el curado es homogéneo y presenta poca humectación, así como, una textura áspera que no favorece la transformación en láminas debido a que se forman grietas y se fisura. El tiempo de curado es de 11 horas a 70 °C.

En la muestra 2 se favorece la transformación de las láminas ya que tiene una textura suave y más mayor humectación por lo que aprecia en la superficie tiene un aspecto brillante que es el exudado de la glicerina, se favorece la elongación de la película de almidón, puede estirarse sin fisurarse y regresar a su tamaño original como se muestra en la figura IV.1. El tiempo de curado es 11 horas a 70 ° C.



Figura. IV.1 Lamina formada en la muestra 2.

Tabla IV.4 Evaluación de ácido bórico.

Componente	Almidón [g].	Agua [mL].	Glicerina [mL].	Estearato de Magnesio [g].	Ácido bórico [g].
Muestra					
<b>1</b>	10	90	20	2.5	2
<b>2</b>	10	90	20	2.5	9



En la muestra 1 la película formada presenta nula elongación y humectación, presenta fisuras, una textura seca y quebradiza como se aprecia en la figura IV.2. No puede estirarse porque al momento de aplicar fuerza y estirla el resultado de este ajuste es que se rompe, por lo que esta cantidad no la favorece. El tiempo de curado requerido es de 9 horas a una temperatura de 70 ° C.



*Figura. IV.2 Película obtenida de muestra 1.*

En la muestra 2 sus características son: presentan una textura rugosa con mayor cantidad de gránulos en la lámina, el curado en el horno es homogéneo y su transformación en láminas fue más sencilla de realizar. La elongación que presenta al estirla es fuerte, y se mantiene unida, presenta una buena humectación, pero el tiempo de secado es mayor. Los cambios efectuados se manifiestan en las características de la película obtenida posterior a un tiempo de curado de 12 horas en el horno a 80 ° C. El curado de esta muestra fue homogéneo y la temperatura no afectó las características del curado. Lo anterior se muestra en la figura IV.3.



*Figura. IV.3 Película obtenida en la muestra 2.*

Debido a que, con las cantidades antes mencionadas, no se logra obtener la película que cumpla con las características deseadas, se reduce la cantidad de ácido bórico que se muestra en la tabla IV.5.

Tabla IV.5 Segunda evaluación de ácido bórico.

Componente	Almidón [g].	Agua [mL].	Glicerina [mL].	Estearato de Magnesio [g].	Ácido bórico [g].
Muestra					
<b>3</b>	10	90	20	2.5	8

Las características de elongación aumentaron, la humectación y la textura son lisas y suave, ligeramente pegajosa por la glicerina que exuda. Transformar las películas de almidón sobre los rodillos con estos ajustes se realiza con mayor facilidad, se logra adelgazar más las láminas sin afectar sus características de elongación como se muestra en la figura IV.4. El tiempo de curado es de 12 horas a una temperatura de 80 °C.



Figura. IV.4 Película obtenida en la muestra 3.

Tabla IV.6 Evaluación del almidón de maíz.

Componente	Almidón [g].	Agua [mL].	Glicerina [mL].	Estearato de Magnesio [g].	Ácido bórico [g].
Muestra					
<b>1</b>	9	90	20	2.5	8
<b>2</b>	8	90	20	2.5	8

Con la cantidad de almidón de la muestra 1 y de la muestra 2 de almidón de maíz se obtiene una película delgada la cual presenta grumos y el tiempo de curado es menor y homogéneo afecta en la estructura de la película, se aprecian fisuras y pierde consistencia, las características obtenidas de los ajustes realizados anteriormente se ven afectadas al disminuir la cantidad de almidón de maíz ya que termina cambiando el aspecto de la lámina, estructura y elongación lo anterior se muestra en las figuras IV.5 y figuras IV.6. El tiempo de curado es de 13 horas a 80 °C.



*Figura. IV.5 Película formada muestra 1.*

*Figura. IV.6 Película formada muestra 2.*

### **4.3 Acoplamiento de glicerina queratina.**

A continuación, se muestra la evaluación de la queratina aplicada en la formulación de la película de almidón. La queratina y el almidón de maíz son macromoléculas, por lo que se realiza el acoplamiento de la queratina con la glicerina y posterior a su incorporación se adicionan los demás componentes.

El acoplamiento de la glicerina con queratina se realiza evaluando el comportamiento de precipitación de la queratina, la incorporación de glicerina se realiza empleando 20 mL para cada una de las muestras evaluadas. Para la incorporación de queratina y glicerina se mantiene en agitación por 5 minutos y sin calentar, la tabla IV.7 presenta las muestras realizadas.

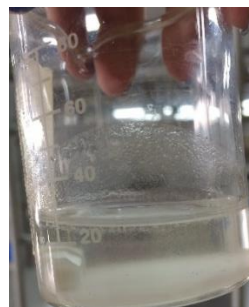
*Tabla IV.7 Evaluación de la queratina.*

Muestra	Glicerina [mL].	Queratina [g].
<b>1</b>	20	5
<b>2</b>	20	2.0

La muestra 1 con 5 gr de queratina presenta un precipitado abundante como se observa en la figura IV.7. Esto indica que en la formación de los apósitos laminares de queratina almidón, la proteína queratina puede concentrarse más en unas zonas de la lámina y en otras zonas de la película no habrá cantidad de fármaco activo para la curación de heridas. La muestra 2 presenta muy poco precipitado como se observa en la figura IV.8. Relacionando los resultados de estas dos muestras evaluadas se propone un ajuste para mejorar su aplicación final.



*Figura. IV.7 Disolución de la queratina muestra 1.*



*Figura. IV.8 Disolución de la queratina muestra 2.*

La tabla IV.8 presenta la tercera muestra, la disolución se favorece como se muestra en la figura IV.9

*Tabla IV.8 Segunda evaluación de queratina.*

Muestra	Glicerina [mL].	Queratina [g].
<b>3</b>	20	3



*Figura. IV.9 Disolución de la queratina muestra 3.*

En esta muestra se favorece la disolución por lo que será apropiada para la formulación de películas de almidón queratina sean 3 gr de proteína queratina los que la conformen, de esta forma la queratina se encontrará homogéneamente en toda el área de la película elaborada.

La tabla IV.9 contiene cada uno de los componentes evaluados y las cantidades a emplear para la formulación y elaboración de la película de almidón queratina.

Tabla IV.9 Formulación de película almidón queratina.

Componente	Almidón [gr].	Agua [mL].	Glicerina [mL].	Estearato de Magnesio [g].	Ácido bórico [g].	Queratina [g].
Formulación	10	90	20	2.5	8	3.0

Los resultados de la formulación de la película de almidón queratina de la tabla IV.9 se observan en la figura IV.10 en a) se observa la elongación que tiene y en b) se muestra su aplicación sobre la mano para evaluar textura y color. La textura final de esta película es lisa, su color es claro y no tiene consistencias rugosas o fisuras que den como resultado una posible ruptura de la película.

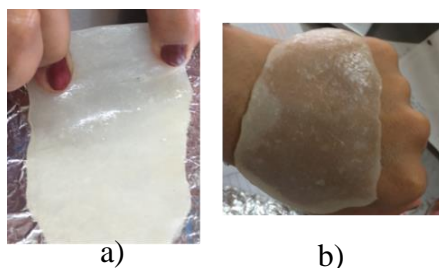


Figura. IV.10 Película de almidón queratina, a) elongación película, b) Evaluación color.

El curado en el horno a 80 ° C no afecta la consistencia, el curado es homogéneo y el resultado final de las películas se ve favorecido en la reducción de tiempo. Para mejorar el curado de las pruebas se cambia el papel encerado y se coloca las muestras sobre láminas de aluminio para que favorezca un curado homogéneo, se trabaja con 2.5 gr de estearato de magnesio para que se realice la evaluación del comportamiento del ácido bórico dentro de la formulación.

En la tabla IV.6 se realiza la evaluación del ácido bórico con las concentraciones que se muestra.

La tabla IV.7 contiene dos muestras con diferentes cantidades de ácido bórico mayores a 5 gr, se observa que las muestras 9 y 10 al aumentar la cantidad de ácido bórico aumenta su facilidad de transformación de láminas, su humectación, elongación y textura. El curado de las láminas se realiza en el horno a 80 ° C por un tiempo total de curado de 12 horas.

La muestra 12 con mayor cantidad de ácido bórico presenta características que delimitan su aplicación ya que puede transformarse en lámina fácilmente y adelgazar la lámina. Los inconvenientes de esta muestra es que se logra adelgazar tanto que no mantiene una estructura estable, inclusive si se realiza una lámina más gruesa no presenta rigidez y se puede perforar fácilmente. En la figura IV.5 se presenta la muestra 12 con los cambios efectuados.

Se observa que la textura rugosa disminuye al aumentar la cantidad de ácido bórico, pero para mejorar la formulación de las láminas se propone realizar una muestra con una cantidad menor a 9 gr y mayor a 7 gr para mejorar la resistencia a elongación manteniendo sus propiedades de humectación y su textura final lisa y no rugosa.

## **CONCLUSIONES.**

Para determinar la viabilidad de la obtención de películas de almidón de maíz impregnadas con queratina, es indispensable considerar las propiedades de los componentes que la constituyen, el tiempo de curado y adherencia a la piel humana. Por lo anterior solo se consideran estos aspectos:

- En la hidrólisis del cabello humano se requiere de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 50% para obtener queratina de alta pureza, el tiempo necesario es de 10 a 20 minutos, alcanzando una temperatura de 65 °C. Para la neutralización se emplea una solución de hidróxido de sodio al 5%; el pH requerido de la queratina es de 4.
- La glicerina aporta humectación y favorece en la elongación del apósito laminar de almidón impregnadas con queratina, la cantidad que la favorece es de 20 mL; con una cantidad mayor la película es muy pegajosa y se requiere de mayor tiempo de curado, mientras que con una cantidad menor la película impregnada de queratina se hace quebradiza, rugosa y con poca humectación. El tiempo de curado es de 27 horas a 70 °C.
- El estearato de magnesio modifica las propiedades de humectación y elongación, a menor cantidad facilita la formación de las películas, sin fisurarse durante el curado por lo que la cantidad requerida será de 2 g ramos y cumple con las características ya presenta mejor humectación y elongación, reduce el tiempo y temperatura: 11 horas de curado y 70 °C respectivamente.
- La cantidad apropiada de ácido bórico para que la película de maíz cumpla con las características deseada es de 8 gramos, el tiempo requerido de curado es de 12 horas a 80 °C. Tiene la función de conferir consistencia en la película (permite moldear mejor en los rodillos durante la formación de la película).
- La cantidad de almidón de maíz requerida es de 10 gramos, ya que con una cantidad mayor o menor se forman grumos en la superficie de la película, lo que provoca una ruptura al ejercer un esfuerzo.

- Para incorporar la glicerina y queratina previamente disueltas a temperatura ambiente y en constante agitación, seguir con la incorporación de almidón, agua, estearato de magnesio y ácido bórico a la mezcla en constante agitación, durante (25-30) minutos, la cantidad de queratina apropiada obtenida de la hidrólisis del cabello humano es de 3 gramos.



## REFERENCIAS.

1. Abel González Galan, Almidón nativo y modificado. Obtención, cuantificación, modificación y usos. Tesis doctoral de investigación. Universidad autónoma Gabriel René Morelos, Facultad de ciencias Farmacéuticas y Bioquímica, 2014.
2. Benítez, Ricardo. "Proteínas procesos y aplicaciones". Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de <http://www.scielo.org.ar/pdf/abcl/v42n2/v42n2a08.pdf>.
3. Beyer Hans, Wolfgang Walter. "Manual químico orgánica", Edición 19. Editorial reverté.
4. Bharat Bhusan. "Byophysis of human hair, Springer- Verlo", Berlin Heidelberg, Cap. 1, pág.1-6, (2010).
5. Bioquímica las bases moleculares, Cap5. Aminoácidos péptidos y proteínas, Mc. GrawHill, 4ta edición, 2014.
6. Callister W.D. "Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales" Vol.2. Reverté, (1998).
7. Carbonell y, isaacson S., González M., Salmoral. "Parámetros que influyen en la conformación de un film plástico biodegradable" Congreso CONAMET Argentina, (2007).
8. Chamizo, J. (1994) "Química la ciencia central". Recuperado el 10 de Abril de 2017, de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/htm/sec\\_4.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/htm/sec_4.htm)
9. Chandra, R., and Rustgi, R. "Biodegradable Polymers", Progress in Polymer Science, Vol. 23, p. 1273 (1998).
10. Clarence R. Robbins. "Chemical and physical behavior of human hair", Editorial Springer, 5<sup>ta</sup> edición, Cap 1.1 pág.2-3, (2012).
11. [depa.fquim.una.mx/amyd/archivero/seminario\\_almidon\\_27067.pdf](http://depa.fquim.una.mx/amyd/archivero/seminario_almidon_27067.pdf). Recuperado Noviembre 2017.
12. [depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/seminario\\_gelatinizaciónyretrogradación\\_25483.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/seminario_gelatinizaciónyretrogradación_25483.pdf). Recuperado Noviembre 2017.

13. Diego Maya Cruz, Estudio y Aplicación del almidón de maíz, Tesis profesional. Instituto Politécnico Nacional., ESIQIE, 2017.
14. Dvorkin, J. “Bases fisiológicas de la práctica médica”. México: Panamericana pág. 47-51, (2010).
15. E. Valencia-Gómez, S.A. Martel-Estrada, C.L. Vargas-Requena, C.A. Rodríguez-González, I. Olivas-Armendariz. “Apósitos de polímeros naturales para regeneración de piel”, Artículo de investigación bibliográfica, Vol.37 No.3, pág. 235-249, (2016).
16. Evelyn Zazilhá Rangel Robles, Extracción de la queratina del cabello por medio de una hidrólisis ácida, Instituto Politécnico Nacional., ESIQIE, 2013.
17. F.U. Momoh, J.S. Boateng, S.C.W. Richardson, B. Z. Chowdhry, J.C. Mitchell. “Development and functional characterization of alginate dressing as potential protein delivery system for wound healing,” International Journal of Biological Macromolecules 81, pág. 137-150, (2015).
18. Fabia Rodríguez. “Estructura y propiedad de aminoácidos y péptidos”, Julio, página 3, (2011).
19. García, T. Proteínas. El Pique Larousse Ilustrado, México: Larousse. pp. 1824, (2010).
20. Genoma Sur. (2010). “Estructura Cuaternaria”. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de <http://www.genomasur.com/lecturas/Guia02-2.htm>
21. Guan; hanna. “Extiruding foams from corns starch and native corn starch”, (2004).
22. Guevara. (2014) Almidones modificados. Recuperado de [www.es.scribd.com/bo/doc/154238811/almidones\\_modificados](http://www.es.scribd.com/bo/doc/154238811/almidones_modificados).
23. Hian Goh, P. Sia Heng, L. Chan. “Cross-linker and non-gelling Na effects on multi-funcional alginate dressings,” Carbpol. N2011.09.097, (2011).
24. Ing. Catalina Claudio, Ing. Leticia Hernández. “Ventajas, usos y aplicaciones de los almidones”, Mundo lácteo y Vacuno, (2015).
25. J. B. Wilkinson, R. J. Moore. “Cosmetología de Harry”, Ediciones Díaz de Santos, 1062 páginas, pág. 449-453, (1990).
26. James Bemiller and Roy Whistlen, “Starch chemistry and technology”, 3rd edition, Food Science and technology, 894 pages, 2009.

27. Jeremy Mark Berg, Lubert Stryer, John Tymoczko, José M. Macarulla. *Bioquímica*. Editorial Reverte, (2008).
28. L.E. Valencia Gómez, S.A. Martel Estrada, C.L. Rodríguez González., *Revista mexicana de ingeniería biomédica*. “Apósitos de polímeros naturales para regeneración de piel”, Vol. 37 no. 3, México, (2016).
29. Lehninger, Albert L. “Principios de bioquímica”. Barcelona: Omega, (1988).
30. Molecular Biologicals Skin & Wound Care Products. Recuperado el 27 de Mayo de 2018, de <http://www.molecularbiologicals.com/products.php#snav-content2>
31. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction - ISBN 978-92-64-122161 © OECD 2012.
32. P. Sikareepaisan, U. Ruktanonchai, P. Supaphol. “Preparation and characterization of asiaticoside-loaded alginate films and their potential for use as effectual wound dressins,” *Carbpol*. 2010.09.048, (2010).
33. P.I. Morgado, A. Aguiar-Ricardo, A., I.J. Correia “Asymmetric membranes as ideal wound dressing: An overview on production methods, structure, properties and performance relationship,” *Journal of Membrane Science* 490, pág. 139-151, (2015).
34. R. Pereira, A. Méndez, P. Bártolo. “Alginate/Aloe vera hydrogel films for biomedical applications,” *Procedia CIRP* 5, pág. 210-215, (2013).
35. Real academia española 23ª edición, Madrid, Espasa libros, S.L.U. 2014.
36. Robbins, 1994; Smith and Swift, 2002.
37. Salvador Baduli Dergal. “Química de los alimentos”, Editorial Alumbra mexicana, 3ª edición, (1993).
38. Stephen J Weininger, Frank R. Stermitz. “Química Orgánica”. Edit. Reverte, (1998).
39. Taylor EJ: *Dorland’s Medical dictionary*, Philadelphia, Saunders, 1988.
40. Wilkinson, J.B., et al. “Cosmetología de Harry”, Editorial Díaz de Santo S.A, 2ª edición, México, pág. 441-447, (1990).

## **GLOSARIO.**

**18-MEA:** Ácido metil eicosanoico 18 es el componente principal de la capa externa de la epicutícula del cabello humano, dota de la hidrofobicidad a la superficie externa <sup>[4]</sup>.

**Actividad hemostática:** Proceso con el conjunto de mecanismos para detener los procesos hemorrágicos, es decir el cese de la pérdida de sangre.

**Alginato:** Polisacárido constituido por D-manurónico y L-gulorónico presente en las paredes celulares de las algas marinas pardas, característica gelificante y diversidad de aplicaciones.

**Aloinjertos:** Trasplante de tejidos de una persona a otra persona.

**Biomateriales:** Materiales de origen artificial (metales, cerámicas, poliméricos) o de origen biológico (colágeno, quitina, queratina) que son implantados en el cuerpo para regenerar, reparar tejidos u órganos que no funcionan correctamente.

**Células epiteliales:** Células que recubren las superficies del cuerpo y los tejidos. Se encuentran en vasos sanguíneos, tracto urinario y órganos.

**CMC:** El complejo de membrana celular es una estructura laminar del cabello que protege cada célula cuticular (escama), proporciona cohesión, fuerza y elasticidad al cabello.

**Cohesión:** Unión de moléculas por la fuerza de atracción entre ellas.

**Córneo:** De cuerno o consistencia parecida a él <sup>[35]</sup>.

**Epitelización:** Proceso de cicatrización dónde participa células epiteliales.

**Estrato Córneo:** Capa superficial de la epidermis, compuesta por células muertas que se descaman continuamente.

**Fibroblastos:** Células que participan en la cicatrización, sintetiza fibras, tejido granular y ayuda en la producción de colágeno.

**Folículo Piloso:** Cavidad dónde nace cada cabello.

**Hidrocoloides:** Sustancias que en contacto con agua se espesan como un gel.

**Hidrófilo:** Sustancia con afinidad al agua, es decir que absorbe el agua con facilidad.

**Hidrofóbico:** Sustancia que no es miscible con el agua.

**Intrínseco:** Que es característico de lo que se habla.

**Keros:** Palabra griega que significa córneo.

**Linfocitos:** Células en la sangre, glóbulos blancos.

**Lipofilico:** Moléculas con afinidad por los lípidos.

**Miofribroblastos:** Son fibroblastos con características espaciales con moléculas como actina y miosina que participan fundamentalmente en la cicatrización y regeneración de tejidos.

**Oligoelementos:** Son bioelementos químicos que en muy pequeñas cantidades es indispensable para las funciones fisiológicas, por ejemplo: azufre, magnesio, zinc.

**ORC:** Celulosa oxidada

**Péptido:** Es la unión de (10-50) aminoácidos mediante enlaces amida. Los oligopéptidos son aquellos que se conforman por menos de 15 aminoácidos, por ejemplo: dipéptidos, tripéptidos, etc.

**Plaquetas:** Son pequeñas células que participan en la formación de coágulos sanguíneos.

**Polimerizarse:** Proceso químico en el cual se forma un polímero o macromolécula a partir de monómeros.

**Polipéptido:** La unión de (50-100) aminoácidos, mayor a 100 se habla de una proteína.

**Polisacárido:** Son biomoléculas formadas por la unión de monosacáridos.

**Protómeros:** Consta de una unidad estructural de que forma parte de una proteína.

**Queratinocitos:** Células predominantes en la epidermis que estimulan el crecimiento de las células epiteliales.

**Quitosano:** Es un polisacárido proveniente las cascaras de los crustáceos.