



Universidad Católica  
**San Pablo**

## **Facultad de Ingeniería y Computación**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **ANÁLISIS DEL USO DE LA QUERATINA COMO BIOMATERIAL**

Trabajo de investigación presentado por la alumna  
de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial:

**OVIEDO ZEGARRA CARLA ALEJANDRA**

Para optar el grado académico de Bachiller en  
Ingeniería Industrial

**Asesor:** Mg. Jose Alberto Aguilar Franco

**AREQUIPA, 2019**

**ÍNDICE**

AGRADECIMIENTOS .....	1
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
Diagnóstico del problema.....	4
Formulación del problema .....	5
OBJETIVOS .....	6
Objetivo general .....	6
Objetivos Específicos .....	6
JUSTIFICACIÓN .....	6
Conveniencia .....	6
Justificación Teórico .....	7
Justificación Metodológica.....	7
Justificación Práctica .....	8
RESUMEN DE LA ESTRUCTURA CAPITULAR DE LA TESINA .....	8
CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
Conceptos Generales .....	9
1.    Queratina.....	9

2.	Proteína .....	10
3.	Hidrólisis.....	10
4.	Materiales no degradables.....	11
5.	Materiales degradables.....	12
Estado Del Arte De Investigación Realizada .....		12
Estudios sobre usos y métodos de extracción de la queratina .....		12
1.	Queratina por “Método Shindai” .....	12
2.	Extracción de Queratina del Pelo Humano y desarrollo de subproductos.....	13
3.	Métodos de extracción de queratina de lana de oveja y subproductos .....	17
4.	Métodos de extracción de Queratina de plumas de pollo y subproductos.....	20
Estudios de aprovechamiento de plumas de pollo para fabricar bioplásticos y biomateriales.....		22
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....		37
Diseño de investigación.....		37
Tipo de investigación .....		37
Ventajas de la investigación .....		38
Desventajas de la investigación.....		38
Métodos de investigación.....		38
Según el tipo de información .....		38
Según el tipo de reflexión .....		38

Análisis de datos.....	39
Aspectos metodológicos de la investigación.....	39
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## ÍNDICE DE FIGUTAS Y TABLAS

Figura 1: Tendencia de investigaciones realizadas .....	8
Figura 2: Solución de Queratina Extraída .....	15
Figura 3: Disco de Queratina de Cabello Humano .....	16
Figura 4: Obtención de Tableros de Fibra con Plumas .....	22
Figura 5: Bioplástico de Queratina y Glicerol .....	23
Figura 6: Gasas de Queratina y Test in Vivo de Curación de Heridas .....	24
Figura 7: Obtención de Película Bioplástica .....	26
Figura 8:Lámina de Almidón de Arroz con Queratina de Plumas y Cáscara de Mango .....	28
Figura 9: Placa Resultante de PLA con Plumas.....	31
Figura 10: Relación entre Materiales Puros .....	32
Figura 11: Resistencia a Tracción y Módulo de Young.....	33
Figura 12: Pérdida de masa después de 60 días de Prueba de Entierro .....	34
Figura 13: Obtención de Películas Termoplásticas .....	35
Figura 14: Propuesta de Proceso para la Obtención de un Biopolímero.....	44
Tabla 1.....	27
Tabla 2.....	27
Tabla 3.....	29
Tabla 4.....	29
Tabla 5.....	36
Tabla 6.....	41
Tabla 7.....	42

Tabla 8.....	42
Tabla 9.....	43
Tabla 10.....	45

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS

- TM: toneladas métricas
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- T: Toneladas
- %: porcentaje
- °C: Grado Celsius
- $\alpha$ : Alfa
- B: Beta
- atm: Atmósferas
- ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
- (%v/v): porcentaje volumen- volumen
- g: Gramos
- M: Molar
- mm: Milímetros
- pH: Potencial de hidrógenos
- KDa: KiloDalton
- rpm: Revoluciones por minuto
- NaOH: Hidróxido de Sodio

- SDS: Dodecilsulfato
- (% m/v): Porcentaje masa-volumen
- N<sub>2</sub>: Dinitrógeno
- HCl: Ácido Clorhídrico
- mg: Miligramos
- mm<sup>2</sup>: Milímetros cuadrados
- N: Nitrógeno

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica San Pablo, por la oportunidad de aprender sobre la investigación, a mi asesor, el profesor José Alberto Aguilar Franco por sus consejos y conocimientos impartidos previos y durante la realización de mi trabajo de investigación, A los dictaminadores, por sus consejos y observaciones que me ayudaron a mejorar y a las personas que mostraron interés y animaron para continuar con la investigación y no abandonar el tema.

## RESUMEN

La queratina es una proteína que conforma algunos de los tejidos de los vertebrados y seres humanos, existen dos tipos de queratina, la queratina  $\alpha$ , presente en los tejidos de mamíferos (cabello, uñas, piel) y la queratina  $\beta$ , encontrada en las garras de reptiles, caparazones de tortugas, plumas, picos, garras de aves, etc. (Singh et al., 2017).

En la última década se ha visto un aumento desproporcional de TM de estas fuentes de queratina considerados “desechos”, la mayoría provenientes de la industria cárnica. Es por eso que desde la década de 1970, investigadores interesados en modificar y hacer uso de estos desechos, incursionaron en la extracción de queratina y apareció por primera vez en la literatura, un injerto vascular revestido con queratina implantado por primera vez y con éxito en un animal (Shokuhin & Gakkaishi, 1977). Desde entonces, se ha visto un aumento en la investigación sobre la utilización de la queratina residual y métodos de extracción bajo diversos reactivos, medios y factores que permitan la utilización del sustrato de queratina soluble o semi-soluble. A partir de la información recopilada se evaluaron los métodos en base a tres factores básicos



(rendimiento, costo de reactivos y requerimiento energético) por los que se determinó que la extracción de queratina de plumas por reducción con sulfuro de sodio fue la que ha generado más ventajas en rendimiento (79.6%) y por presentar el costo más bajo en reactivos y requerimientos energéticos para la obtención de queratina soluble.

***Palabras clave: queratina, extracción, métodos, biomateriales.***

### **ABSTRACT**

Keratin is a protein that makes up some of the tissues of vertebrates and humans, there are two types of keratin, keratin  $\alpha$ , present in mammalian tissues (hair, nails, skin) and keratin  $\beta$ , found in the claws of reptiles, turtle shells, feathers, beaks, bird claws, etc. (Singh, Wang, & Ng, 2017).

In the last decade there has been a disproportionate increase in TM of these considered “wastes”, the majority coming from the meat industry. That is why since the 1970s, researchers interested in modifying and making use of these wastes, ventured into the extraction of keratin and appeared for the first time in the literature, a keratin-coated vascular graft implanted for the first time and successfully in an animal (Shokuhin & Gakkaishi, 1977). Since then, there has been an increase in research on the use of residual keratin and extraction methods under various reagents, media and factors that allow the use of the soluble or semi-soluble keratin substrate. Based on the information collected, the methods were evaluated based on three basic factors (yield, reagent cost and energy requirement) by which it was determined that the extraction of feather keratin by reduction with sodium sulphide was the one that generated the most

performance advantages (79.6%) and for presenting the lowest cost in reagents and energy requirements for obtaining soluble keratin.

Keywords: keratin, extraction, methods, biomaterials.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Los materiales poliméricos derivados del petróleo son muy versátiles y la mezcla entre ellos, ha logrado obtener materiales compuestos con propiedades sinérgicas que hacen difícil su degradación, ocasionan el agotamiento de recursos no renovables y generan graves afecciones al medio ambiente (desperdicios y contaminantes) (Stevens, 2002) .

Es por esto que en la industria se ha visto la necesidad de desarrollar materiales biodegradables obtenidos a partir materias primas naturales como aminoácidos, carbohidratos, etc. que sean fáciles de degradar y en corto tiempo. La ventaja que ofrecen estos materiales es que preservan fuentes de energía no renovables (petróleo) y reducen el problema del manejo y contaminación de los desechos (Villada et al., 2007).

Los aminoácidos son la base de la queratina, proteína natural con mucho potencial biomédica y textil, además de existir varios procesos químicos, los cuales facilitan su solubilización liberando los aminoácidos insolubles convirtiéndolo en un líquido que facilite su utilización para darle diversas aplicaciones, pues es un material de refuerzo con buenas propiedades físicas mecánicas, resistencia térmica, flexible, abundantes y de fácil acceso. (Ossa et al., 2007).

En la presente investigación, se encontrará una breve descripción de los tipos de queratinas, las características fisicoquímicas que hacen que la queratina un biomaterial prometedor y las últimas actualizaciones en procesos de obtención.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **Diagnóstico del problema**

El uso de plásticos sintéticos tuvo sus inicios a principios del siglo XX, desde entonces, se ha convertido en uno de los principales problemas que afectan al medio ambiente, tardan muchos años en degradarse y la mayor parte de estos se producen a partir de combustibles fósiles ( fuente de energía no renovable) (Saavedra Alemán et al., 2010). Anualmente se producen 100 TM de plástico al año, Estados Unidos produce 40 millones de las 100 TM de plástico producidas al año (Stevens, 2002).

De la composición de basura, más del 11% corresponden a los plásticos y más del 14% a otros materiales no degradables. La descomposición del plástico oscila entre 150 y 500 años, lo que ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales con las mismas propiedades pero que tengan un periodo de degradación más corto como la de los productos orgánicos, que pueden tardar entre 3 y 4 semanas aproximadamente (Espín, 2007).

El Perú consume 947,000 T de plástico al año; de los cuales, sólo el 0.3% es reciclado.El

Decreto Supremo N° 013-2018-MINAM publicado el 5 de noviembre del año 2018 promueve el

uso responsable del plástico, sustituyéndolo por un material reutilizable, biodegradable y en diciembre del 2018 se aprobó la ley reguladora de uso de plástico en el Perú 30884, ley que prohíbe el uso, adquisición y comercialización de bolsas de un solo uso tendrán un plazo de 3 años para reemplazarlas de forma progresiva por bolsas reutilizables o biodegradables. En el 2021 quedará totalmente prohibida la fabricación de plásticos de un solo uso, otros de difícil degradación y envases de tecnopor con la que se espera reducir el 30% de consumo del plástico de un solo uso en el país (MINAM 2018).

A manera de resolver los problemas ambientales de los materiales no degradables, se ha iniciado por reemplazarlos por materiales biodegradables como la tela, el papel u otros materiales vegetales menos (almidón de maíz, caña de azúcar, la fécula de papa). Sin embargo, el uso de estos materiales presenta algunas desventajas: el papel, para ser biodegradable debe producirse a partir de celulosa, que conlleva a la explotación de recursos forestales (abetos, pinos y eucaliptos) y el algodón debe ser orgánico, es decir, de plantaciones que no usen pesticidas ni sustancias químicas.

### **Enunciado del problema**

“Uso excesivo de materiales no degradables y falta de un componente natural que pueda ser usado como complemento de materiales biodegradables”.

### **Formulación del problema**

¿Cuáles serían los resultados de hacer uso de la queratina como biomaterial?

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Analizar el uso de la queratina como biomaterial.

### Objetivos Específicos

1. Definir las fuentes principales de obtención de queratina y describir los usos de la queratina en la industria actual.
2. Describir los procesos realizados para la extracción de la queratina.
3. Seleccionar la información recopilada e identificar el mejor método de extracción de queratina.

## JUSTIFICACIÓN

### Conveniencia

Con el interés de responder a una nueva necesidad que es el uso de materiales biodegradables como una forma de limpiar y reducir el impacto en el ambiente que genera gran la cantidad de polímeros de fuentes no renovables (petróleo) y materiales no degradables esparcidos en el suelo, mares y ríos de todo el mundo, dar un valor agregado a la queratina químicamente extraída de elementos que normalmente se desechan: el cabello humano, las plumas, escamas, cuernos, garras, picos de aves, pezuñas, etc. producto de la venta de pescado, faena y pelambre animal. Por ser abundantes, accesibles y la naturaleza de la proteína que las compone (fuerza, dureza, alta resistencia al agua y propiedades mecánicas superiores).

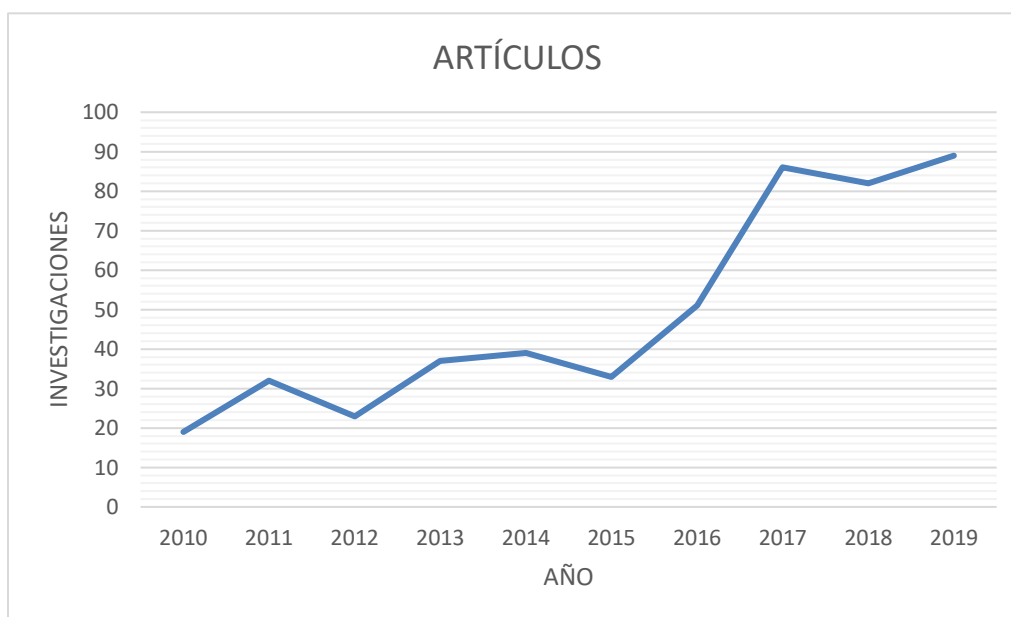
## **Justificación Teórico**

Estudiantes de Universidades e Institutos tecnológicos nacionales e internacionales han desarrollado trabajos de tesis sobre la extracción de queratina por hidrólisis de cabello y plumas proponiendo su uso en alimento para animales de engorde, fertilizantes y productos para el cabello. El Instituto Tecnológico del Plástico (AIMPLAS) en la búsqueda de elaborar envases degradables, ha decidido formar parte del proyecto KARMA 2020, que en coordinación con CIDETEC, está en la búsqueda de desarrollar nuevos procesos para extraer el mayor porcentaje de queratina natural posible, de igual forma, investigadores de la Universidad de Nebraska-Lincoln, buscan reemplazar el uso de derivados de petróleo en fibras textiles y plásticos a partir de desechos de la actividad agropecuaria como del cultivo de arroz, trigo y de actividades de la industrialización del cuero (etapa de pelambre ) y la faena avícola.

## **Justificación Metodológica**

El método a que se utilizará en la presente investigación será de tipo cualitativo no experimental. Se realizará el análisis de información sobre estudios realizados relacionados con los métodos de extracción de queratina y usos de la queratina obtenida, especialmente el análisis de información científica de bases de datos de ScienceDirect, la cual será utilizada para determinar su potencial como biomaterial o base para su elaboración.

En la figura 1, se muestra la incidencia en investigación realizada en los últimos años sobre el uso de queratina que respalda la relevancia de la información de la investigación realizada.



*Figura 1: Tendencia de investigaciones realizadas*

Fuente: Elaboración Propia, basado en datos de ScienceDirect

### **Justificación Práctica**

Una multitud de contribuyentes de queratina (plumas, pelo, lana, cuernos y pezuñas) están disponibles en nuestra ciudad. Numerosos métodos para la desnaturalización ya sea por régimen oxidativo o reductor, se puede encontrar en bases de datos y plataformas digitales, cada uno de ellos viable, en términos de costo de materiales, aporte de energía y tiempo que dan como resultado fragmentos de queratina de amplio peso molecular.

### **RESUMEN DE LA ESTRUCTURA CAPITULAR DE LA TESINA**

El Capítulo 1 aborda la introducción donde se describe la situación Actual, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del trabajo de investigación. El Capítulo 2 presenta el Marco Teórico, detalla la composición de la proteína queratina, propiedades, características y

conceptos generales abordados en la presente investigación, el estado del arte sobre estudios sobre los posibles usos de la queratina en la industria y métodos de extracción de queratina. El Capítulo 3 se muestra el método de la investigación empleada. El Capítulo 4 se refiere al análisis de resultados de la investigación realizada, y finalmente, en el Capítulo 5, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones Referencias y Anexos del presente entregable.

## **CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO**

### **Conceptos Generales**

#### 1. Queratina

Proteína fabricada por los Queratinocitos (células que se encuentra en la capa profunda de la epidermis). Existen dos tipos de queratina ( $\alpha$  y  $\beta$ ) La queratina  $\alpha$  es una estructura de gran resistencia presente en la lana de oveja, pelo, uñas y piel con fuertes puentes de disulfuro, insoluble en agua y solventes orgánicos. La queratina  $\beta$ , se puede encontrar en la tela de araña, plumas, garras y picos de aves. La queratina muestra mayor presencia en las plumas con un aproximado de 80%, 95% en el cabello humano sano (sin haber pasado por ningún procesamiento químico), y la lana de oveja (75%).

##### 1.1. Propiedades de físico- químicas

- Confiere a sus portadores el carácter impermeable.
- Pertenece al grupo de las escleroproteínas (fibrosas).
- Posee gran cantidad de azufre y cisteína (le confiere resistencia).
- Insoluble en ácidos y bases débiles.



- Con estructura en forma de hélices entrelazadas por la formación de puentes intra-peptídicos.
- Antes de cualquier tratamiento es necesaria la ruptura de sus puentes de disulfuro.
- Compuesta por cuatro estructuras: la primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.
- De naturaleza hidrófila, no quema, no es tóxica, es biocompatible y biodegradable (Chávez & Tenorio, 2014).

## 2. Proteína

Biomolécula formada por principalmente carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. Algunas de ellas también contienen azufre, fósforo, hierro, magnesio, cobre, etc. dependiendo de la proteína. Recibe en nombre de aminoácidos, normalmente sus moléculas están unidas por más de 50 enlaces peptídicos, tienen dos clasificaciones: las proteínas fibrosas (de gran tamaño constituidas por cadenas polipeptídicas que forman láminas o fibras, muy resistentes e insolubles en agua o disoluciones salinas) y las proteínas globulares (las cadenas polipeptídicas se manifiestan de manera compacta formando esferas, la mayoría de éstas con hidrosolubles, al igual que las enzimas desempeñan el papel de transporte) (Valencia, 2018).

## 3. Hidrólisis

Proceso químico que une a la queratina con el agua (ruptura de puentes disulfuro) conservándose sólo la estructura secundaria y primaria, realizado en los portadores de queratina para liberar aminoácidos insolubles y lo convierte en un líquido que puede ser digerible o tener otro tipo de

aplicaciones. Los métodos más frecuentes para tratar las plumas y hacer que puedan ser digeridas es tratándolas a una temperatura de 75 a 160°C y una presión de 1 a 4 atm entre 15 minutos y 18 horas (Latshaw et al., 1994) o aplicándoles ácidos y bases en diferentes concentraciones por un periodo de 24 horas (W. K. Kim & Patterson, 2000).

3.1. Desnaturalización: rompimiento de las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria con excepción de la estructura primaria de la queratina por hidrólisis muy agresiva que provoca la pérdida de todas sus propiedades físicas, sobre todo resistencia.

#### 4. Materiales no degradables

Materiales que son importantes para la economía mundial en una sociedad de consumo. Fácil de fabricar de costo económico y larga duración, que después de usarlo cuando ya no lo queremos lo desechemos, su utilidad y beneficio es contraproducente para el medio ambiente ya que permanece en él durante largos años ocasionando daños por no poder descomponerse ni eliminarse fácilmente.

Polímeros que en su mayoría son fabricados fundamentalmente de derivados del petróleo y creados para cumplir diferentes funciones específicas por ser macromoléculas de gran estabilidad estructural muy resistente tenemos al vidrio, metal, plástico, etc. Demandados por los consumidores y las empresas, pero a la misma velocidad en que son demandados, estos también son desechados con una alta tasa de eliminación que ha ido ocasionando graves problemas en los suelos, mares y ríos cuyo tiempo de vida es mayor a 100 años (Stevens, 2002).

## 5. Materiales degradables

Materiales elaborados a partir de macromoléculas que se encuentran en el almidón, la celulosa, las proteínas, ácidos nucleicos, recursos agrícolas, animales y forestales, etc. se degradan por acción de los microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) y que obtuvieron certificación como biodegradables porque son elaborados a partir de materiales renovables. Para definir su biodegradabilidad es necesario conocer su origen, estos materiales, según su respuesta al calor: termoestables que no se deforma ante cambios de temperatura por poseer fuertes enlaces covalentes y los elastómeros (polímeros elásticos).

Para evaluar el comportamiento de los biomateriales en el ambiente se les realizan ensayos para determinar su confiabilidad, muchas de estas pruebas ya han sido normalizadas, según normas extranjeras y deben cumplir con estándares específicos de biodegradación medidos por normas internacionales como por ejemplo la norma ASTM D6400 (Stevens, 2002) .

### **Estado Del Arte De Investigación Realizada**

#### **Estudios sobre usos y métodos de extracción de la queratina**

##### 1. Queratina por “Método Shindai”

En 2017, se publicó un documento para comprender el comportamiento y formas de manipular la queratina de origen humano o animal. El autor publicó sobre el método de

extracción “Shindai”. Método suave que no causa la hidrólisis de proteínas y genera rendimientos relativamente altos en la extracción de queratina. Para el desarrollo éste método, se utilizan tres reactivos tiourea, urea y mercaptoetanol a 50°C por 7 horas. Cuando se aplicó a las plumas de pollo, pelo de la rata, lana y las uñas de humanos, proporcionó un rendimiento promedio de 75% en términos proteína.

Algunas de las aplicaciones potenciales de la queratina resultante son:

- Revestimiento: recubierto de gelatina y la queratina del pelo humano en gránulos de hidroxiapatita y gentamicina.
- Esponjas: (Tachibana et al., 2002) reportó esponjas de queratina de lana porosas por liofilización.
- Fibras: mezcla de queratina de pelo con otros polímeros sintéticos o naturales (Singh et al., 2017).

## 2. Extracción de Queratina del Pelo Humano y desarrollo de subproductos.

2.1. En 2018, estudiantes del Instituto de Ciencia de la India (Bangalore), realizaron un experimento para comparar métodos de extracción de queratina de cabello humano usando cuatro agentes químicos (sulfuro de sodio, ácido peracético, urea y ácido tioglicólico).

2.1.1. Sulfuro de sodio (reducción): los cabellos secos se hacen reaccionar con sulfuro de sodio (0.125 M) a 0 °C durante 4.5 horas. Finalizado este tiempo se procedió a filtrar la mezcla, se centrifugó durante 10 minutos y se dializó, al cabo de una

semana con el cambio constante de agua se filtra para obtener finamente y se almacenó la muestra a 4°C.

Resultado: proteína marrón cristalina soluble en NaOH 1 M.

2.1.2. Ácido Paracético (oxidación): los cabellos preparados previamente se hacen reaccionar con este ácido (2.5% w/v) a temperatura ambiente durante 12 horas, el ácido que no reaccionó se retira lavando el cabello con agua desionizada y se agrega 150 ml de Tris a temperatura ambiente por dos horas, se filtra y dializa por una semana cambiando diariamente el agua.

Resultado: proteína blanquecina, esponjosa y ligera.

2.1.3. Ácido Tioglicólico (oxidación- reducción): los cabellos listos se hacen reaccionar con ácido tioglicólico (0,5 M, pH = 10,4 ajustado usando NaOH) a una temperatura de 37 °C por 15 horas. Finalizada la reacción se decanta la solución de color café y se centrifuga, el cabello que queda se hace reaccionar con Tris Base (100 mM) durante 2 horas a 37 °C. finalmente se extrae la proteína y se deja en agua por otras 2 horas a 37 °C. La extracción se lleva a cabo dos veces y se unen ambas soluciones.

Resultado: proteína en forma de escamas, color blanquecinas soluble en NaOH 1M.

2.1.4. Urea (reducción): El pelo listo se hace reaccionar con Tris-HCl (25 mM, a un pH de 8,5), tiourea (2,6 M), urea (5 M) y 2-mercaptoetanol (5%) a una temperatura de 50 °C por 3 días. Finalmente, la mezcla se filtra, centrifuga a 15.000 rpm durante 20 minutos a temperatura ambiente y la solución final se dializa por 5 días cambiando constantemente el agua. La solución dializada se liofilizó para obtener la proteína seca y se almacena a 4 °C.

Resultado: proteína blanca en forma de escamas soluble en NaOH 1 M, observada en la Figura 3.

- Resultado general: el ácido peracético fue el menos eficiente, su rendimiento fue de 52 %. En los tres métodos restantes se determinó un rendimiento mayor a 54 % con carga superficial, viscosidad de la queratina extraída similar (Agarwal et al., 2019).

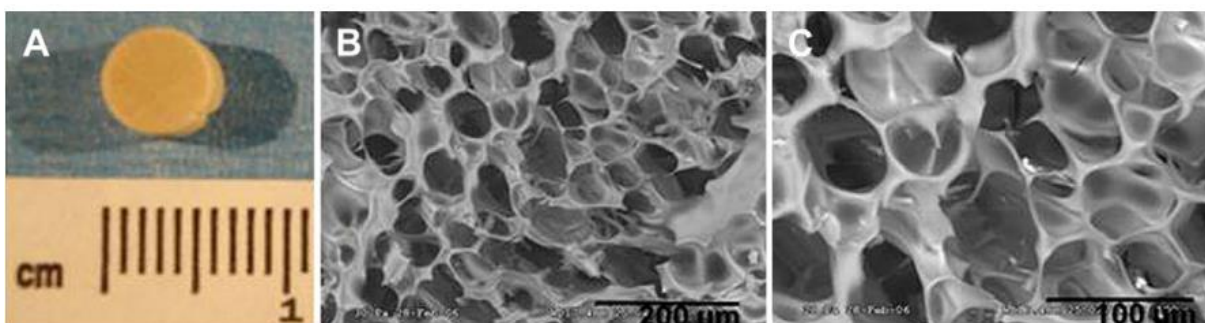


*Figura 2:* Solución de Queratina Extraída  
Fuente: (Agarwal et al., 2019)

2.2. En el año 2010, en el Instituto Wake Forest de Medicina Regenerativa, investigadores extrajeron queratina de cabello humano obtenido de una peluquería. Como todo proceso de extracción, se procede a la preparación de cabello lavándolo y desengrasándolo con detergente y disolvente orgánico y se deja secar al aire libre. Seguidamente, se mezclaron 100 g cabellos cortado en pequeñas fibras con ácido tioglicólico a pH 10.2 durante 12 horas. Pasada la reducción química, la queratina bruta se obtiene combinando la mezcla con 100 mm de tris base, luego se realiza una segunda extracción con 4 L de agua desionizada. La solución obtenida se centrifuga a 6 rpm, filtra, y se dializa con agua

desionizada manteniendo pH 7 adicionando 0,1 M de NaOH para evitar que la solución de queratina se precipite y se adiciona agua dionizada y se deja por 5. Finalmente se liofiliza y se ajusta el pH y concentración a 7,4 y 5% en peso adicionando NaOH por gotas y agua. En la figura 2, se puede observar el resultado de la reacción, una red homogénea de queratina en forma de disco, formada poros interconectados que varían en tamaño.

La queratina fue planteada para usarla como material de partida para elaborar geles y andamios porosos que ayuden a cicatrizar heridas, regenerar los huesos o la reparación del nervio periférico (Hill et al., 2010).



*Figura 3: Disco de Queratina de Cabello Humano*  
Fuente: (Hill et al., 2010)

2.3. En el año 2000, Se realizó un trabajo de investigación por el departamento de ingeniería biomédica de la Universidad de Kyung Hee (Seúl) para el desarrollo de hidrogel de queratina de pelo humano para acelerar la cicatrización y reepitelización de heridas. El método de extracción de queratina inició con la preparación del cabello lavando 50g de cabello y enjuagándolo con etanol y agua destilada 70% (v / v) y se de-lipidiza con cloroformo y metanol (2: 1; v / v) por 24 horas y se deja secar. Seguidamente, la

queratina del cabello humano se extrae con de ácido peracético 2% (v / v) a temperatura de 37 °C por un día entero, y después se lava con 20 g de solución salina de fosfato (PBS), se tratan con 400 ml de solución Shindai que contiene 5% (v / v) 2-mercaptoetanol, urea 5 M, 2.6 M de tiourea, 25 mm Tris pH 8.5 por 72 horas en constante agitación a 300 rpm. La solución resultante se centrifuga a 4500 rpm por 20 minutos, se filtra y dializa el sólido con 12-14 kDa de (Spectra / Por®) y agua destilada, finalmente la solución resultante se liofiliza para obtener queratina en polvo.

El producto resultante fue probado en ratones, aplicándolo cada dos días en las heridas. Después de 21 días de tratamiento se observó a las heridas cerradas sin rastro de costra haciendo uso de un microscopio estéreo (S. Y. Kim et al., 2019).

### 3. Métodos de extracción de queratina de lana de oveja y subproductos

#### 3.1. Trabajo de investigación realizado por investigadores de la universidad de Mouloud

Mammeri (Argelia) en del departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática en 2018, Método de extracción de queratina de lana de oveja por hidrólisis alcalina prepararon la lana lavándola con agua y detergente a 50°C, se enjuagándola con agua destilada y se secar a temperatura ambiente por dos días y se la corta en fragmentos milimétricos.

Seguidamente, se hace reaccionar 1g de lana en 100 ml de NaOH (0.5N) regulando el pH a 13.9 por 8 horas a 60°C. La solución muestra un color amarillo por los aminoácidos en la superficie de la cutícula. Se observan fibras y fragmentos de células en suspensión las cuales se enjuagan con agua destilada, se centrifuga durante 10 minutos a 12000 rpm y se



añade el precipitado sólido con 20 ml de agua desionizada. Dando una solución de queratina acuosa.

Para la construcción de un sensor de humedad basado en polímero de queratina de lana de oveja, de 180 mm<sup>2</sup> de área, el electrodo de modelado se cablea al cobre y conecta a un medidor de humedad relativa LCR (HP 4284A). Estos sustratos se tratan en acetona por 10 minutos, se lava con agua desionizada y la queratina se debe hacer adherir vertiendo gota a gota en un sustrato de vidrio y se seca en un horno a 60 ° C. El resultado del proceso es una queratina hidrófila, porosa de superficie rugosa con mucho potencial para la detección de humedad por presentar alta sensibilidad si se desarrolla por medio de electrodos espirales (Hamouche et al., 2018).

3.2. En 2018, investigadores biotecnólogos de la Universidad de Donghua, Shanghai., lavaron la lana con acetona y dejaron secar por dos días, antes de usarla, se aclara la lana con agua destilada.. La extracción de queratina se realizó en una solución acuosa con 2 g / L de L-cisteína y 8 M urea, a pH 10,5 justado con NaOH 5 M y en agitación por 5 horas a 65 °C. Luego filtra y se dializa la solución extraída en agua destilada durante 3 días a temperatura ambiente, cambiándola cuatro veces al día. Finalmente, la solución se liofiliza para obtener un polvo de queratina regenerada.

Preparación de un polímero: La queratina extraída de la lana se disuelve en ácido fórmico (disolvente) agitando fuertemente durante 2 horas y se adiciona PCL con agitación durante 12 horas en diferentes proporciones (0: 100, 20:80, 40:60, y 60:40)

para dar una concentración final de 6, 8, 10, 12 y 14% en peso de polímero en ácido fórmico (Wu et al., 2018).

3.3. En 2016, Investigadores de la Universidad de Sichuan (China), desarrollaron la presente investigación en colaboración con intentos de sustitución de productos sintéticos de origen petrolífero dando a conocer métodos de extracción de queratina y en base a estos, se desarrolló un método versátil de solubilización de queratina de la lana.

- Sulfosis: de la lana de la queratina ( 10 g de lana) con urea (8 M), metabisulfito (0,5 M) y dodecil-sulfato de sodio con un pH de 6,5, durante 2 horas en agitación fuerte y constante (Aluigi et al., 2007).
- Soluciones alcalinas: lana con urea 8M con 0.1 N de NaOH, 0.1 M durante 5 horas a 65 °C dio un rendimiento de 68% de queratina.
- La hidrólisis enzimática: reacción de la lana con 2,6% Savinase, asistido por sulfitohidrógeno de sodio se dio el 26% de rendimiento de queratina a las 10 horas. Otra hidrólisis enzimática es la reacción de la lana con hidróxido de calcio 9% y 5% alcanzó un rendimiento 59% de queratina soluble (Eslahi et al., 2013).
- La solubilización más económica de la lana es la oxidación de hidróxido de percarbonato (1% de sodio, 4.5% percarbonato de sodio) y sulfuro (sulfito de sodio /L 6 g y 21 g / óxido de calcio L) (Brown et al., 2016).
- Extracción propuesta:  
Se extrae la lana de oveja cruda (1200 g) se tritura y pre- procesa lavándola y desengrasándola con agua destilada, amoníaco y 4% de carbonato de sodio a 60°C.

Luego se lava con agua a 40°C agitándolas por 15 minutos regulando el Ph a 7 con ácido fórmico y ácido sulfúrico. Seguidamente, se llevó a cabo la hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio (12%) a 80 °C agitando la mezcla por 4 horas. Finalmente se filtra y centrifuga logrando un rendimiento de 67.2% de proteína (Gaidau et al., 2019).

#### 4. Métodos de extracción de Queratina de plumas de pollo y subproductos.

4.1. En el año 2016, investigadores de Bioingeniería, de la Universidad de Chongqing (China) se usaron las plumas, residuos de la industria de aves de corral, para la extracción de queratina por el método de reducción. Se inició preparación de plumas las plumas se lavan tres veces con 0,5% (m / v) de sulfato de sodio para eliminar el polvo y se secan en un horno de secado a 50 °C 12 horas. Luego se cortan en pequeños filamentos de (1 - 2 mm), se utilizaron 20 g de plumas se mezclan con 800 ml de alcohol etílico (95%) por 2 horas y ácido clorhídrico durante 2 horas más para desengrasarlas y romper el enlace de hidrógeno en la pluma. La pluma limpia pre-tratada se secó y se almacenó a temperatura ambiente. Luego se sumergen en 600 ml de una solución mixta (16 g de SDS, 20 g de urea y 0,3 g de base Tris) ajustando a pH 9 y temperatura de 70°C en un medio de agitación fuerte y constante, y se hace reaccionar a mezcla con N<sub>2</sub> por 2 horas más. Luego, la mezcla se filtra, se obtiene la precipitación de queratina ajustada a pH 4, centrifugar a 6000 rpm durante 30 minutos. Disolver el precipitado en hidróxido de sodio

y dializar en agua desionizada durante tres días. Se recoge el polvo de queratina después de la liofilización y se lleva a molienda.

Nano partículas: se obtienen cuando 20 ml de queratina diluida es inyectada por ácido acético con pH 3 dándose la nano suspensión, las cuales se centrifugan por 40 minutos a 12000 rpm, liofilizan por 12 horas y almacenan (Wang et al., 2016).

4.2. En 2014, en la Universidad de Jina (China), se experimentó extrayendo queratina de plumas por reducción. Las plumas se lavaron con agua destilada y se esterilizaron en una autoclave hasta que tornen color blanco. Seguidamente, se mezclan las plumas con sulfitohidrogenado de sodio, urea, dodecilsulfato sódico (SDS) y agua destilada agiténdola a temperatura entre 30 y 60 °C. la mezcla resultante, se calienta a 80°C por 4 horas adicionando nitrógeno hasta que la reacción de reducción se haya completado y se haya formado un lodo sin rastros de plumas. Se filtra la mezcla para obtener la queratina soluble y se dializa durante 7 días. Finalmente, se lava con agua destilada hasta que el residuo tome color blanco (esto indica que los agentes reductores se lavaron), se filtra nuevamente y secan los residuos a 50°C durante 1 día.

La esponja se prepara mezclando la queratina obtenida (71%) con diferentes pesos de glicerol (0%, 5%, 10% en peso). Las mezclas se vierten en vidrios de reloj y colocan en un frigorífico de - 80 ° C durante al menos 2 horas. Después, las muestras se pasan a un liofilizador a vacío a - 20 ° C durante 24 horas y finalmente se obtienen fibras de esponja suave (Zhuang et al., 2013).

## Estudios de aprovechamiento de plumas de pollo para fabricar bioplásticos y biomateriales

1. (Dieckmann et al., 2019). Nuevos Materiales Sostenibles a partir de Plumas de Desecho: Propiedades de los Paneles de Fibra Prensada en Caliente / Algodón / Bicomponente. Actualmente se reutilizan las plumas de pollo para producir harina para alimentar animales con un valor económico muy bajo, pero que se puede dar un mayor valor a este desecho. En esta investigación se muestran los nuevos materiales subproductos de las plumas que se obtiene con fibras de algodón y biocomponentes (plumas de pollo) formando tejidos de 20 mm de espesor que luego se presan en caliente con queratina de plumas (obtenida por hidrólisis) para mejorar la densidad y mejorar las propiedades de los tejidos. La temperatura óptima de prensado en caliente se encuentra entre el 150 y 160 ° C a una presión de 6 MPa por un tiempo de 1 minuto. Temperaturas más altas causan la degradación de la fibra de plumas y temperaturas más bajas un mal prensado y desunión de las fibras. Los tableros de fibra de plumas con 0,77 g / cm<sup>3</sup> de espesor tienen resistencia a la tracción de 17.9 Mpa como los tableros de resina orgánica y tableros de escamas que explotan las propiedades únicas de la pluma.

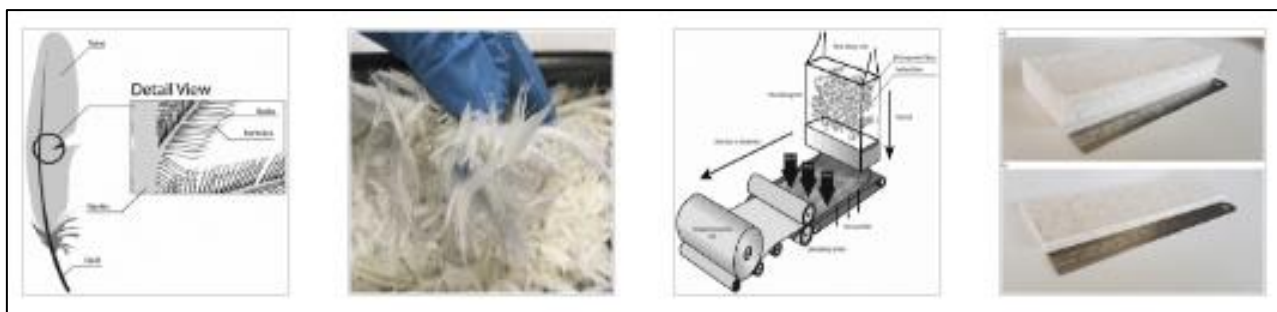


Figura 4: Obtención de Tableros de Fibra con Plumas

Fuente: Dieckmann et al., 2019

2. (Alashwal et al., 2018). Propiedades Mejoradas de la Película Bioplástica a base de Queratina Mezclada con Celulosa Microcristalina: un Análisis Comparativo.

Investigación realizada para reforzar el bioplástico, denominado por los investigadores como (KC-60) fue primeramente desarrollado a partir de queratina extraída de plumas de pollo y celulosa por un proceso químico con NaOH y se mezcló con PVA/ glicerol. Con la intención de mejorar el bioplástico (KC-60) se le adicionó celulosa microcristalina al 2% para reforzar el bioplástico. Utilizando el análisis de grupos funcionales con FT-IR, los resultados mostraron que los grupos funcionales que se conformaron en la queratina fueron: amidas I-III y OH, un enlace de hidrógeno sustancial y un nuevo material cristalino con alta resistencia estructural que puede ser usado en la elaboración de recipientes para alimentos u otros.

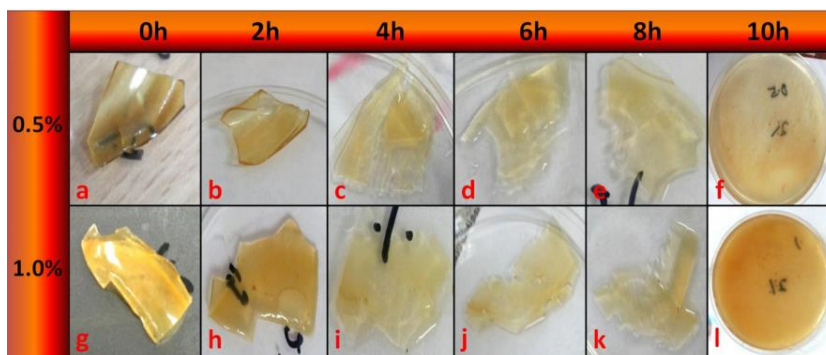


Figura 5: Bioplástico de Queratina y Glicerol  
Fuente: (Ramakrishnan et al., 2018)

3. (Shanmugasundaram et al., 2018). Fabricación y Caracterización de Materiales de Apósito no Tejidos Recubiertos con Polímero de Queratina / Polisacáridos Mezclados con Plumitas de Pollo para Aplicaciones de Curación de Heridas.

Estudios experimentales previos demostraron que la queratina (por su compatibilidad y propiedades físicas) del cabello humano tenía el poder de cicatrización de heridas; sin embargo no estaba comprobado el poder de curación de las plumas por su alto contenido en queratina, para lo cual se experimentó con ratas alvinas y comprobar el nivel de cicatrización con tres tipos de gasas para heridas elaboradas a base de queratina de plumas de pollo : (CFK-NW), queratina-alginato de sodio (CFK-SA-NW) y queratina-quitosán (CFK-CS-NW) las cuales resultaron idóneas como gasas por el espesor y densidad que tenían . CFK-SA-NW y CFK-CS-NW resultaron teniendo un efecto positivo mayor en la prueba de cicatrización de heridas al 100% a los 15, 17, 21 y 23 días y gran potencial antibacteriano. Por lo que se concluye que la queratina de plumas de pollo puede ser utilizada en la elaboración de gasas para curar heridas de material biodegradable, así como también un hidrogel biomédico de queratina de plumas para curar heridas.

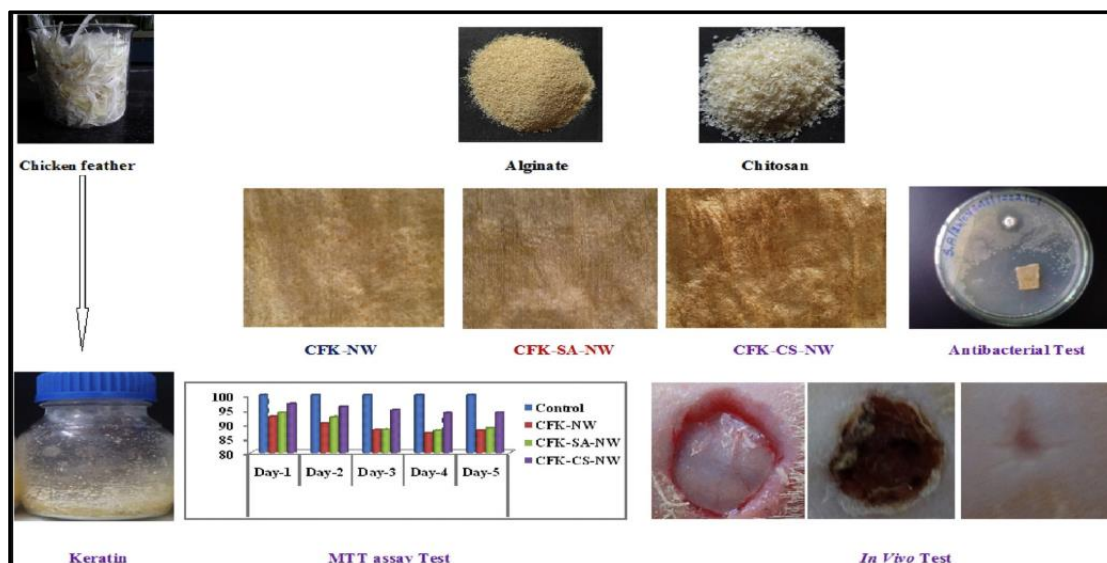


Figura 6: Gasas de Queratina y Test in Vivo de Curación de Heridas  
Fuente: Shanmugasundaram et al., 2018)

4. (Ramakrishnan et al., 2018). Película Bioplástica a base de Queratina de Plumas de Pollo y su Caracterización.

Experimento realizado con la intención de encontrar un material sustituto de los plásticos del petróleo por el problema de la sostenibilidad del medio ambiente y la conservación del mismo que no se da al fabricarlos y eliminarlos, por lo que un sustituto del plástico artificial por uno biológico desempeñaría un papel importante para las personas y la conservación del medio ambiente. Describe a las plumas como una fuente proteica renovable abundante y económica cuya eliminación conduce a mayor contaminación y la eliminación del 90% de materia prima proteica (queratina) la cual es hidrófila, no quema, biodegradable y de diversas aplicaciones a través de procesos químicos. Para la parte experimental se extrajo la queratina mezclándola con diferentes concentraciones de glicerol (2 a 10%). Se agitó de forma constante a 60°C por 5 horas y finalmente se secaron en un horno a 60° por 24 horas. Se realizaron las siguientes pruebas mecánicas y físico químicas:

1. Prueba microscópica: tuvo como resultado ningún orificio o cavidad.
2. Espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR): composición química
3. Análisis termo gravimétrico (TGA)
4. Calorimetría diferencial de barrido
5. Difracción de rayos X para evaluar su cristalinidad y propiedades térmicas.

Resultado global: el material bioplástico compuesto de queratina con 2% de glicerol posee propiedades mecánicas y térmicas adecuadas como alternativa de sustituto a materiales basados en aceites fósiles (perjudiciales para el ambiente) con nivel de biodegradabilidad probado.



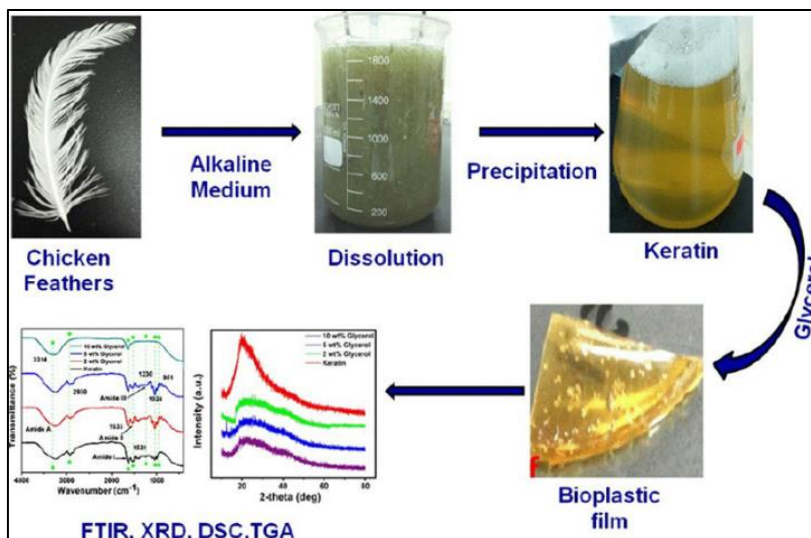


Figura 7: Obtención de Película Bioplástica  
Fuente: Ramakrishnan, Sharma, Gupta, & Alashwal, 2018

5. (Llerena & Monzón, 2017). Elaboración de un Envase Biodegradable a partir de Almidón obtenido de Arroz Quebrado (*oryza sativa*), Queratina obtenida de Residuos Avícolas (plumas) Fortificado con Residuos de Cáscaras de Mango (*Mangífera Índica*) (Tesis de Pregrado).

Trabajo de investigación basada en la búsqueda de aprovechamiento de residuos agropecuarios: arroz quebrado, las plumas de pollo y las cascaras de mango desechadas. Por diferentes métodos de extracción se requería el almidón del arroz y la queratina de las plumas de pollo para la elaboración de envases biodegradables. Una vez obtenidas las sustancias requeridas, se procedió a realizar experimentos con las tres sustancias para conseguir la proporción adecuada de almidón y queratina del que se logre obtener láminas de bioplástico requeridas para obtener el envase. Luego de obtener las láminas de 10 gr de bioplástico, se procedió a fortificar las láminas con cáscara de mango y glicerina, ácido acético y agua destilada. Finalmente se realizaron pruebas mecánicas para determinar su resistencia, flexibilidad, dureza, etc. requeridas para

envases donde se observó la viabilidad para la obtención de envases biodegradables. El resultado de los experimentos dio como proporción óptima:

- Queratina 40gr y almidón 4ml
- Cáscara de mango 10 gr
- Ácido acético al 5%

Tabla 1  
*Resultados del Ensayo de Tracción del Bioplástico*

	Fuerza (N)	Deformación (mm)	Tensión (Mpa)	Módulo de Young (Mpa)
Probeta 1	15.3	2.1	1.9	39.05
Probeta 2	18.04	2.9	2.25	33.77
Probeta 3	10.98	2.6	1.53	24.6
Promedio	14.78	2.55	1.89	32.47

Fuente: Elaboración Propia, Adaptado de Llerena & Monzón, 2017

Tabla 2  
*Medidas de las Probetas de Bioplástico*

Dimensión	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Longitud (mm)	41.06	40.62	39.21
Ancho (mm)	6.2	6.3	6.19
Espesor (mm)	1.3	1.14	1.27
Área (mm <sup>2</sup> )	8.04	7.2	7.86

Fuente: Elaboración Propia, Adaptado de Llerena & Monzón, 2017



*Figura 8:*Lámina de Almidón de Arroz con Queratina de Plumas y Cáscara de Mango

Fuente: Llerena & Monzón, 2017

6. (Luis Calle Guadalupe et al., 2016). Obtención de Termoplásticos a partir de Plumas de Pollo. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo.

En la ciudad de Quito dos ingenieros químicos lograron obtener películas de termoplásticos biodegradables (polímeros que pueden ser moldeados si se les aplica calor y mantienen esa forma si se enfrían) a partir de la queratina de las raquis y barbillas de plumas de pollos de aproximadamente 60 días de edad. Una vez obtenida la queratina mediante pruebas en el equipo FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometry) procedieron a polimerizarla y plastificarla con glicerina y colágeno; sin embargo, por el bajo poder de plastificación de los insumos, se consiguieron películas de baja calidad por lo que se determinó que para lograr una mayor calidad se debe hacer uso de mejores agentes plastificantes como el alcohol polivinílico u otros para lograr mejores resultados, mejorando la calidad de las películas que hasta podrán ser utilizadas para elaborar bolsas de plástico de supermercado.

Tabla 3  
*Características de la Solución de Queratina Obtenida*

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Color	Amarillo claro
Olor	Inodoro
Transparencia	Transparente
Densidad	1,2 g/cm <sup>3</sup>
Índice de refacción	1,42
Viscosidad	0,65 Cp

Fuente: Llerena & Monzón, 2017

Tabla 4  
*Resultados Físicos y Mecánicos de las Biopelículas*

<b>MUESTRA</b>	<b>ESPESOR (cm)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>RESISTENCIA A LA ROTURA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
C1	0.02	15.6	0.8
C2	0.02	15.8	9.5
C3	0.05	16.0	11.3
C4	0.03	16.7	10.9
C5	0.04	15.9	11.2

Fuente: Llerena & Monzón, 2017

7. (Rahhali, 2015). Valorización de Residuos Queratínicos para la Obtención de Materiales Biocompuestos (Tesis Doctoral).

Tesis que propone el aprovechamiento de las plumas de pollo para la obtención de fibras termoplásticas y validar su uso en productos industriales. Se llevó a cabo de forma experimental a partir de innovadores materiales termoplásticos, se procedió al lavado, desinfección y estabilización de las plumas triturándolas para dividir las en pequeños componentes. Una vez

tratadas se las mezcla con matrices termoplásticas (PLA) con una máquina amasadora para finalmente prensarlo a 100 KN y alta temperatura obteniendo como resultado placas luego de ser enfriadas a temperatura ambiente. Finalmente se realizaron pruebas de las que se obtuvieron buenas propiedades físicas y mecánicas por la adición de plumas a las matrices poliméricas mejorando su rigidez.

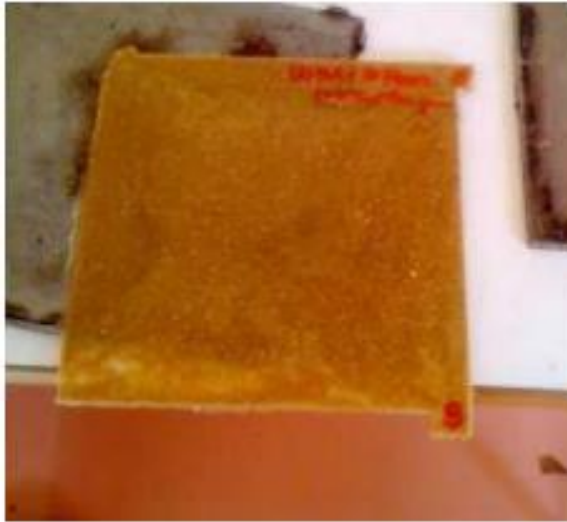
8. (Serra, 2014). Aplicación de un nuevo biomaterial a un producto (Proyecto final de Grado).

En la universidad politécnica de Catalunya como proyecto final de grado, un alumno realizó un proyecto experimental en el cual creó un plástico biodegradable compuesto de PLA y plumas de pollo. El PLA o ácido láctico es un tipo de plástico elaborado a base de polímeros naturales como el almidón que se encuentra en los vegetales; sin embargo, debido a su estructura molecular es parecida a la de los polímeros petroquímicos y utilizado para fabricar botellas, empaque de comida, bolsas de plástico, etc.

El PLA con plumas se clasificó como un compuesto biodegradable que se elaboró en tres etapas:

- Etapa 1: preparación de la pluma: la preparación implica el descongelado (al llegar la pluma al laboratorio se la congela para su conservación y para evitar que pierda sus propiedades), el lavado y esterilizado para estabilizar las plumas con vapor de agua, secado, trituración, y el segundo secado para eliminar toda la humedad.
- Preparación del PLA: la preparación de la es la fabricación del mismo.

- Mezclado: para determinar la proporción en PLA y plumas, se basó en estudios antes realizaron donde consiguieron que con el 85% de PLA y 15% de plumas, se logra conseguir un material las propiedades mecánicas necesarias.



*Figura 9: Placa Resultante de PLA con Plumas*

Fuente: Serra, 2014

Comparación de la mezcla con materiales puros.

- Se realizó una comparación con materiales puros del Módulo Young y la densidad de la muestra de PLA con plumas. En fuerza y resistencia, la mezcla se encuentra cerca al ABS (material con resistencia y mucha flexibilidad para moldear) y por encima de los polímeros y elastómeros.

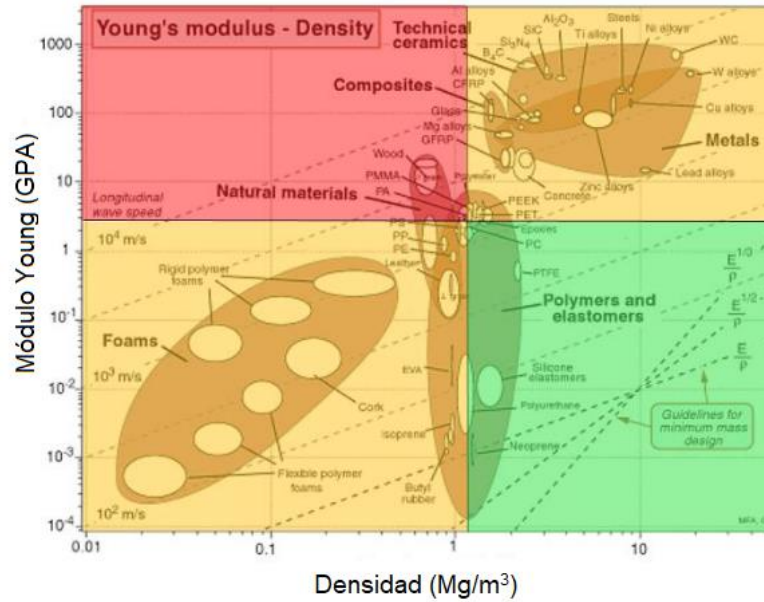
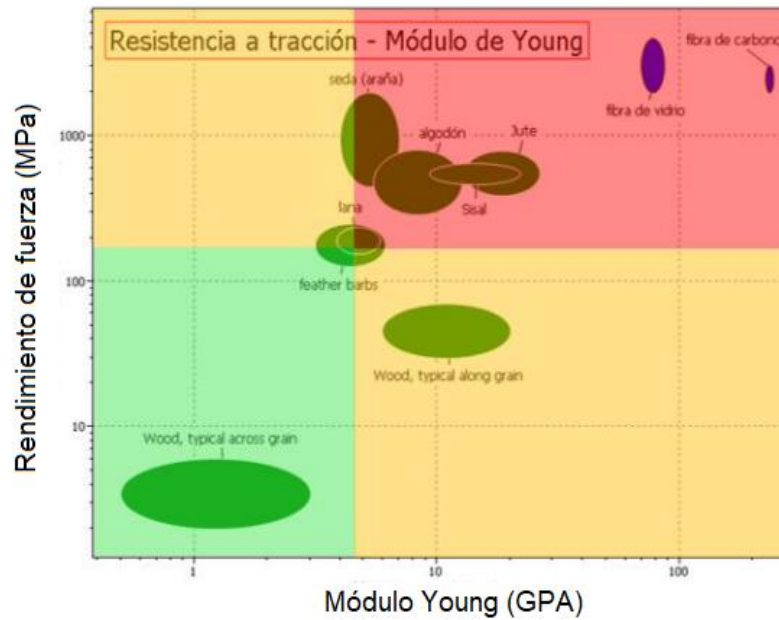


Figura 10: Relación entre Materiales Puros  
Fuente: Serra, 2014

#### Comparación de la mezcla con materiales compuestos

- En la comparación se demostró que la resistencia de la mezcla está por debajo de compuestos con fibra de vidrio o carbono.



*Figura 11: Resistencia a Tracción y Módulo de Young*  
Fuente: Serra, 2014

La mejor alternativa luego de una lluvia de ideas fue fabricar macetas biodegradables con la mezcla de materiales. Mediante pruebas de resistencia y biodegradación. La maceta cumple con su función de contener, también aporta nutrientes a las plantas y finalmente elimina la acción de trasplante.



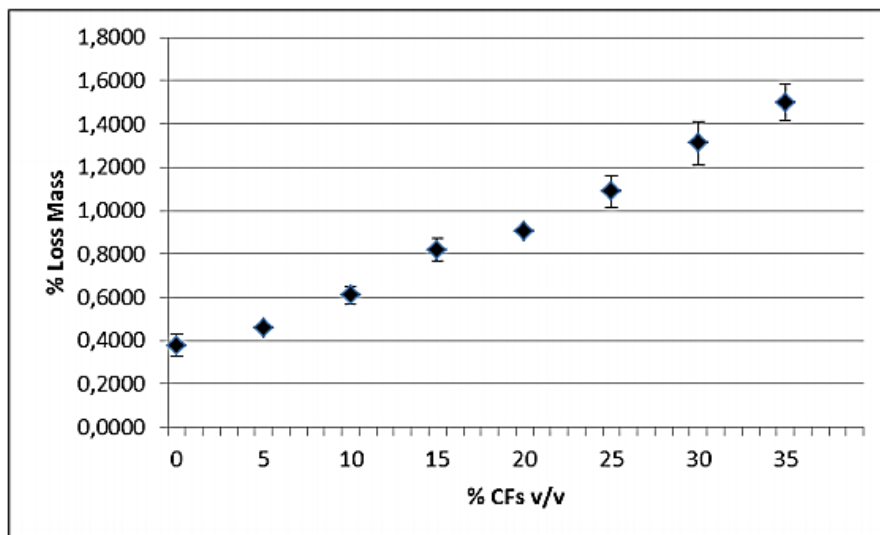


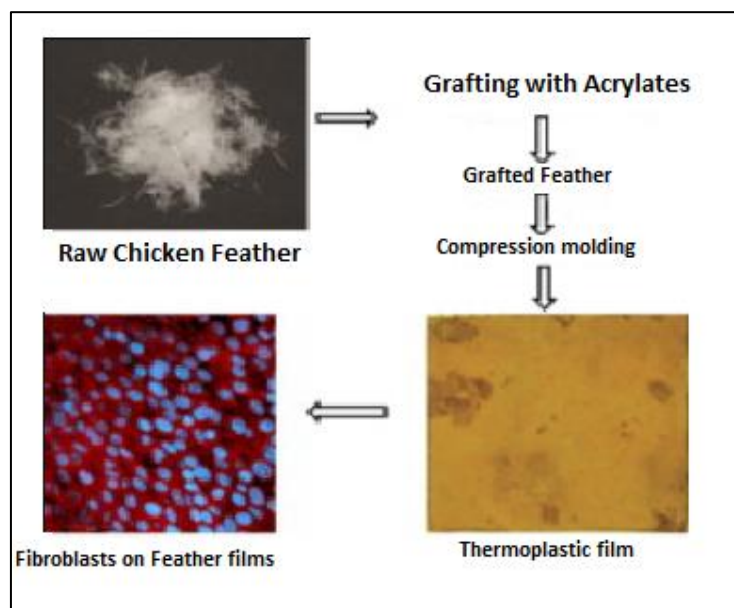
Figura 12: Pérdida de masa después de 60 días de Prueba de Entierro  
Fuente: Serra, 2014

#### 9. (Reddy et al., 2013) Bio-Thermoplásticos de Plumas de Pollo Injertadas para Posibles Aplicaciones Biomédicas.

Las aplicaciones de plumas son muy variadas por su amplia disponibilidad: materiales compuestos, fibras, andamios para ingeniería de tejidos, nanopartículas y micropartículas, dispositivos electrónicos, etc.; sin embargo, las aplicaciones son limitadas por el limitado conocimiento sobre los procesos para disolver la queratina de las plumas y utilizarla a gran escala

La presente investigación fue desarrollada para la obtención de un biomaterial con aplicaciones médicas. En investigaciones anteriores la queratina era extraída por hidrólisis alcalina, proceso químico que le daba poca estabilidad al agua y propiedades mecánicas débiles. En este experimento se optó por experimentar en fabricar termoplásticos a partir de plumas moldeadas e injertadas por compresión con 9 monómeros de acrilatos. Se realizaron las pruebas de resistencia al agua y de citocompatibilidad las cuales resultaron que el material tenía

resistencia al agua y crecimiento celular mayor que el ácido láctico. Por lo tanto, se demostró su potencial para la fabricación de biomateriales biomédicos.



*Figura 13:* Obtención de Películas Termoplásticas  
Fuente: Reddy et al., 2013

A continuación, en la Tabla 5, se muestran los resultados encontrados en rendimientos, reactivos y medios de extracción utilizados en la investigación realizada.

Tabla 5

*Resumen de Procesos de Extracción de Queratina*

<b>Fuentes naturales</b>	<b>Tipo de proceso de extracción</b>	<b>Reactivo</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Tiempo Extracción (horas)</b>
<b>Cabello humano</b>	oxidación	Ácido peracético	52%	12
	oxidación - reducción	Tioglicólico	54%	15
	reducción	Tris-HCl , tiourea, urea y 2-mercaptoetanol	54%	60
	reducción	Sulfuro de sodio	54%	4.5
<b>Plumas de aves</b>	reducción	Sulfato de sodio	80%	6
	reducción	Urea, dodecilsulfato sódico	71%	4
<b>Lana de oveja</b>	reducción	Urea, NaOH,	68%	5
	hidrólisis enzimática	Sulfitohidrógeno de sodio ,Savinase	59%	10
	reducción	Urea, L-cisteína, L-cisteína y NaOH	62%	5
<b>Plumas, pelos de roedor y uñas de humano</b>	"metodo shindai"	Urea y mercaptoetanol	75% en promedio	7

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

### **Diseño de investigación**

La investigación realizada en el presente trabajo fue de tipo no experimental transversal, en la cual se desarrolló la recolección y análisis de información de fuentes bibliográficas de investigaciones realizadas sobre los procesamientos realizados al cabello humano, lana de oveja y plumas de pollo para la obtención de queratina, y los usos que se le fue dando en los últimos, alcanzando mediante la investigación los objetivos de levantamiento de información, presentación de los procesos de extracción actuales de obtención de queratina del cual se identificará el mejor método de extracción y lo que actualmente se hace con la queratina para dar respuesta al problema de investigación planteado.

### **Tipo de investigación**

La investigación realizada fue de tipo exploratorio, por ser la aplicación de queratina un asunto desconocido o poco utilizado en nuestro país, pero que en la actualidad se vienen realizando investigaciones a nivel internacional para hacer uso de este residuo, que se tira y no es aprovechado, en la elaboración de algún tipo de biomaterial completamente degradable. Para lo cual se requirió de recolección bibliográfica de fuentes de información que se aproximan al tema expuesto, las cuales fueron analizadas con la intención de determinar el rendimiento en queratina de las diversas fuentes de ésta proteína y sus aplicaciones para poder tener una primera aproximación que permita decidir si efectivamente tienen el potencial para la fabricación de un material degradable.

### **Ventajas de la investigación**

Las ventajas de este tipo de investigación es que al no necesita ser estructurada, hizo posible el uso de técnicas flexibles para el análisis e interpretación bibliográfica de extensos documentos, además hizo posible tener una perspectiva de las investigaciones realizadas por otros investigadores y conocer sobre sus opiniones y motivaciones de las que se puede finalmente se logró obtener un conocimiento más extenso sobre el tema investigado.

### **Desventajas de la investigación**

Las conclusiones se fueron dando conforme la investigación iba en camino y la recopilación de información dio como resultado datos aproximados o gráficos que no puedan ser usados como estadísticas. Al no hacer uso de la medición de forma exhaustiva, el conocimiento obtenido pudo perder de cierta forma objetividad

### **Métodos de investigación**

#### **Según el tipo de información**

Se realizó una búsqueda bibliográfica cualitativa de artículos científicos, revistas científicas, guías informativas, libros e información periodística de tipo cualitativa y cuantitativa sobre los usos de la queratina haciendo énfasis en materiales biodegradables y procesos de extracción de proteína, información que proporcionó datos de experiencias de investigadores y expertos en experimentos realizados de forma descriptiva brindando un mayor entendimiento sobre el tema.

#### **Según el tipo de reflexión**

La reflexión de la investigación realizada fue tipo analítica, se realizó la recolección y análisis de la literatura cumpliendo con los objetivos de la investigación, a partir del cual se analizó el potencial de la queratina del cabello humano, lana de oveja y plumas de pollo elaborar biomateriales y los procesos actuales para su obtención.

### **Análisis de datos**

Posteriormente al análisis preliminar de los datos obtenidos se procedió a la selección de una de las varias propuestas para la extracción de queratina de sus fuentes naturales.

### **Aspectos metodológicos de la investigación**

La metodología propuesta se desarrolló con el propósito de cumplir los objetivos de la investigación: conocer las principales fuentes de generación de proteína en el país y analizar estudios de investigación y experimentos realizados para fabricar subproductos o biomateriales. Finalmente, determinar si realmente se puede hacer uso de la queratina para la elaborar un material a nivel de laboratorio o producirlo a nivel industrial. Se realizaron los siguientes procedimientos: levantamiento de conceptos generales, levantamiento del estado del arte y análisis de resultados.

1) Levantamiento bibliográfico de información con respecto a los conceptos relacionados con el tema de la investigación para ampliar los conocimientos actuales sobre el tema expuesto a partir de libros virtuales y artículos científicos. 2) Levantamiento del estado de arte sobre los materiales elaborados obtenida de estos trabajos de investigación, artículos científicos, experimentos científicos u otros que pudieron dar una respuesta general al problema central 3) De la información encontrada sobre la extracción de queratina y sus usos en biomateriales al análisis de resultados.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. La queratina es una proteína de origen natural. En los seres humanos la queratina se encuentra en la piel, las uñas y el cabello y en los animales en las garras, uñas, cuernos, escamas, lana, plumas, pelo, pezuñas, etc. de todas estas estructuras contenidas de proteína, las que más contenido tienen de queratina son la lana de los animales (75%), el cabello humano (95%), las plumas de las aves (80%) y las, todos estos disponibles y desechados por la industria del cabello (no comercializado), la industria ovina (lana de baja calidad, no comercializada) y avícola desechados, enterrados o incinerados por no hacer gastos en eliminarlos.
2. Las plumas de pollo son el desecho industrial del que mayor provecho se puede obtener en nuestro país tomando en cuenta que entre las tres estructuras analizadas, son las que mayor porcentaje en queratina poseen (80%) y que se genera en nuestra ciudad en una proporción creciente en relación al incremento potencial de consumo de pollo. El consumo promedio per cápita de consumo de pollo es de 49.5 kg por habitante cada año. Este es un promedio nacional, ya que en Lima metropolitana el consumo es de 80,5 kg por habitante por año, el sector pecuario tuvo un crecimiento de 7.5% en 2018 con respecto al 2017 y se estima un crecimiento sostenido de 7, 7% anual (Ministerio de Agricultura y Riego, 2018).

Tabla 6

*Encuesta de Producción Avícola por Región*

Regiones	Bb de engorde 2015	de postura (sólo hembras) 2015	Pollos Bb cruzados 2015	Bb de engorde 2016	de postura (sólo hembras) 2016	Pollos Bb cruzados 2016	Pollos Bb de engorde 2017	de postura (sólo hembras) 2017	Pollos Bb cruzados 2017	Pollos Bb de engorde 2018	de postura (sólo hembras) 2018	Pollos Bb cruzados 2018	Pollos Bb de engorde 2019	de postura (sólo hembras) 2019	Pollos Bb cruzados 2019
<b>Total nacional</b>	<b>56,012</b>	<b>1,935</b>	<b>364</b>	<b>58,604</b>	<b>1,897</b>	<b>424</b>	<b>60,452,982</b>	<b>2,278,806</b>	<b>439,779</b>	<b>64,310,979</b>	<b>2,391,606</b>	<b>563,805</b>	<b>66,370,681</b>	<b>2,470,768</b>	<b>579,731</b>
Amazonas	0	1		97	0	5	16,400	0	3,929	9,298	0	3,749	6,200	5,286	2,757
Ancash	1208	1	7	2,474	0	11	1,944,079	3,497	7,207	761,830	0	9,453	1,151,871	5,296	10,744
Apurímac	0	0	4	0	0	2	0	0	5,214	526	0	6,113	3,000	3,090	8,271
<b>Arequipa</b>	<b>5656</b>	<b>79</b>	<b>11</b>	<b>6,038</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>6,235,583</b>	<b>22,535</b>	<b>28,762</b>	<b>6,125,876</b>	<b>83,555</b>	<b>32,480</b>	<b>6,920,092</b>	<b>108,222</b>	<b>58,396</b>
Ayacucho	1	1	78	0	1	73	0	2,346	77,076	1,966	0	95,885	0	0	89,700
Cajamarca	25	0	3	38	0	0	30,223	0	0	41,035	2,530	1,297	33,657	8,240	2,771
Cusco	81	0	36	104	0	48	67,471	0	28,960	91,238	2,373	31,107	67,872	0	1,286
Huancavelica	0	8	8	0	3	4	0	756	17,466	0	0	15,472	0	0	44,557
Huánuco	18	0	21	1	0	24	1,100	0	19,173	3,740	2,609	34,453	3,054	0	6,171
Ica	1,964	4	0	1,955	0	0	2,561,863	4,590	1,143	2,599,006	1,005,873	889	1,902,703	910,264	37,826
Junín	509	660	39	680	796	34	418,314	954,946	36,173	323,714	2,430	60,921	14,200	0	1,200
La Libertad	10,171	1	9	9,331	4	16	10,228,644	1,590	9,271	12,415,497	531,782	11,402	12,691,656	320,244	57,273
Lambayeque	845	323	3	885	228	10	1,302,286	415,016	11,623	1,186,956	30,123	7,486	1,246,514	165,953	11,714
Lima	30,716	19	85	32,493	19	94	32,690,615	55,299	77,787	35,029,897	575,589	139,402	37,288,809	817,001	5,815
Loreto	928	683	9	831	723	7	879,670	638,055	15,430	1,005,041	14,293	10,440	962,134	26,265	145,635
Madre de Dios	190	10	7	283	11	2	330,891	294	7,999	345,144	3,964	6,937	360,843	0	5,871
Moquegua	0	40	0	0	0	0	0	20,000	0	930	133	124	0	0	6,057
Pasco	40	3	0	29	0	1	4,529	0	0	24,707	0	4,765	6,700	0	6,586
Piura	998	0	1	1,055	0	18	1,148,121	0	12,100	1,233,751	37,599	20,450	1,259,043	15,320	27,057
Puno	3	2	7	1	2	21	1,300	0	35,243	2,127	420	19,485	857	515	14,714
San Martín	1,268	1	5	1,404	0	9	1,488,768	0	9,132	1,353,632	51,224	11,470	1,397,734	10,300	8,758
Tacna	988	46	11	819	49	3	797,738	94,272	20,221	610,736	39,861	17,051	566,841	33,113	10,271
Tumbes	0	28	6	0	18	4	1,429	45,610	3,243	9,561	0	1,335	686	20,217	857
Ucayali	403	22	11	88	0	21	303,957	0	12,627	1,134,771	7,248	21,637	486,215	21,442	15,444

Fuente: Elaboración Propia a partir del Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias - Encuesta Semanal a Plantas de Incubación de Aves SIEA 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 (MINAGRI, 2015-2019)

- La producción avícola en unidades en la ciudad de Arequipa al año según MINAGRI, 2015-2019:



Tabla 7  
*Producción de Pollo en Arequipa*

AÑO	PRODUCCIÓN DE POLLO (UNIDADES)
2015	5,746
2016	6,077
2017	6,286,880
2018	6,241,911
2019	7,086,710

Fuente: Elaboración Propia

- La proyección de la producción de pollo en unidades en la ciudad de Arequipa tomando en cuenta el crecimiento nacional de producción del sector 7.7%:

Tabla 8  
*Proyección de Producción de Pollo al 2021*

AÑO	PRODUCCIÓN DE POLLO (UNIDADES)
2015	5,746
2016	6,077
2017	6,286,880
2018	6,241,911
2019	7,086,710
2020	7,632,387
2021	8,220,080

Fuente: Elaboración Propia

- El peso promedio del pollo es de 2.5 kg, las plumas producto de la faena de aves, conforman entre el 5 y 8% del peso vivo del ave equivalente entre 150 y 200 g o 175 g en promedio (Valencia, 2018).

- Disponibilidad promedio de plumas de centros avícolas encuestados de Arequipa tomando en cuenta el peso en plumas por unidad de pollo producida para el 2021 es de 1438.51 toneladas:

Tabla 9

*Producción de Plumas en Arequipa*

<b>AÑO</b>	<b>PRODUCCIÓN DE POLLO (UNIDADES)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE PLUMAS (GRAMOS)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE PLUMAS (TONELADAS)</b>
2015	5,746	1,005,550	1.01
2016	6,077	1,063,460	1.06
2017	6,286,880	1,100,203,975	1100.20
2018	6,241,911	1,092,334,461	1092.33
2019	7,086,710	1,240,174,250	1240.17
2020	7,632,387	1,335,667,667	1335.67
2021	8,220,080	1,438,514,078	1438.51

Fuente: Elaboración Propia

3. Se realizaron una serie de estudios experimentales internacionales de aprovechamiento de plumas de pollo para fabricar biomateriales y bioplásticos haciendo uso de diferentes métodos de extracción de queratina de plumas. De la información encontrada sobre el procesamiento de las plumas para fabricar biomateriales y bioplástico se procedió a desarrollar una propuesta operativa para el aprovechamiento de las plumas.

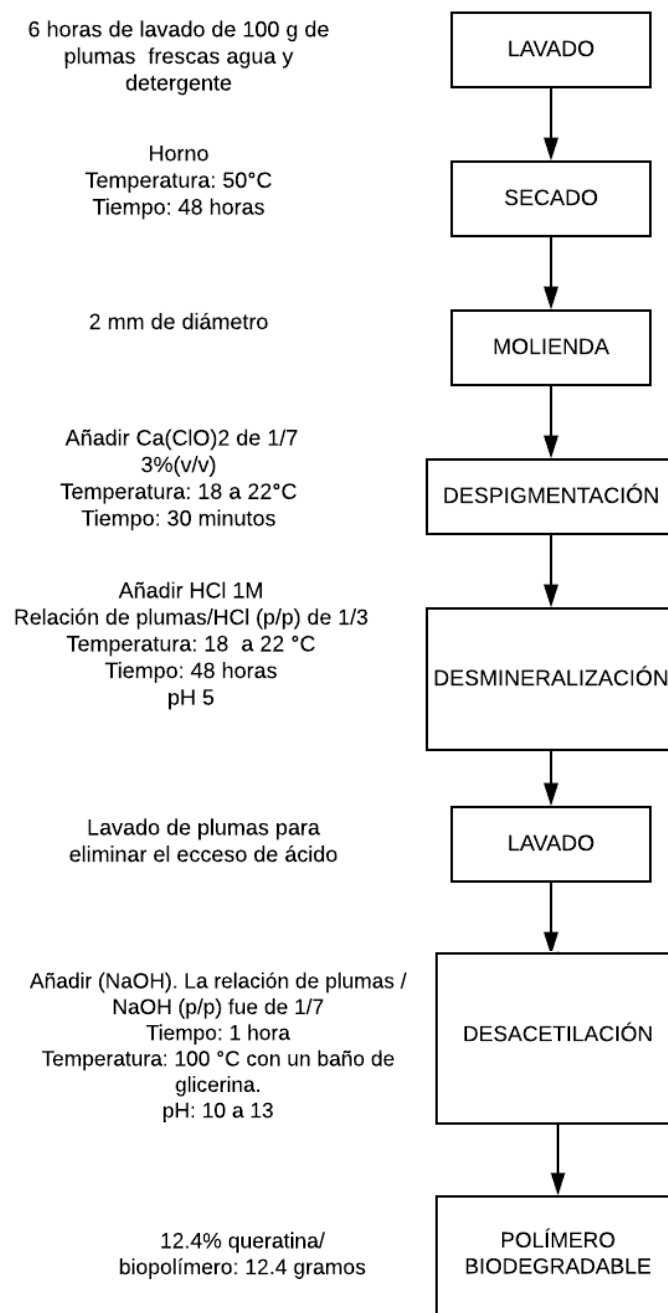


Figura 14: Propuesta de Proceso para la Obtención de un Biopolímero

Figura14: Propuesta de Obtención de BioplásticoFuente: Elaboración propia, Adaptado de Luis Calle Guadalupe, López, & Verduga, 2016

El proceso propuesto tiene un rendimiento en biopolímero de 12.4%. En Arequipa, según la Tabla 10, aproximadamente 153.78 toneladas de plástico no biodegradable dejaría de ser utilizado en el año 2019 y para el año 2021, según la proyección realizada, 178.30 toneladas de plástico no biodegradable serían reemplazados por plástico biodegradable. Además, en el 2019, aproximadamente 1240.17 toneladas de plumas serían eliminadas.

Tabla 10

*Producción de Biopolímero en Toneladas en Arequipa*

<b>AÑO</b>	<b>PRODUCCIÓN DE PLUMAS (TONELADAS)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO (TONELADAS)</b>
2015	1.01	0.12
2016	1.06	0.13
2017	1100.20	136.43
2018	1092.33	135.45
2019	1240.17	153.78
2020	1335.67	165.62
2021	1438.51	178.38

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Millones de toneladas de residuos de queratina se generan en todo el mundo cada año. Las plumas, pelo y lana son los principales contribuyentes (80, 95 y 75%, respectivamente). De todas las fuentes queratinolíticas, las plumas son el desecho más abundante, más fáciles de acceder, de costo casi gratuito y a su vez, son las que contienen un alto porcentaje de material queratinoso.
2. Se concluye que, del procesamiento de plumas, se puede obtener un 12.4% en biopolímero lo que resulta que, para la región de Arequipa, más de 153 toneladas de biopolímeros no biodegradables podrían ser reemplazados por polímeros biodegradables en base a la extracción de la queratina de plumas de aves.
3. Se concluye que, pueden llevarse a cabo de manera segura y efectiva todos los métodos analizados. Del resultado comparativo de los métodos hallados, se considera que la extracción de queratina de plumas por reducción con sulfuro de sodio fue el que tuvo un mayor porcentaje de rendimiento (79.6%), además, es el método con costo más bajo en términos de costo de materia prima, costo del aporte químico y energía requerida (50°C) con tiempo de reacción de 6 horas.
4. Al término del análisis bibliográfico de acuerdo con los objetivos propuestos, personas interesadas en el tema podrán analizar los resultados de la presente investigación, determinar si se pueden llevar a cabo mejoras en los procesos de extracción analizados,

dar lugar a futuros estudios o considerar emprender un proyecto de inversión de pequeña envergadura en la producción de un material biodegradable u otra aplicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, V., Panicker, A. G., Indrakumar, S., & Chatterjee, K. (2019). Comparative Study of Keratin Extraction from Human Hair. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 382–390. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.098>
- Alashwal, B., Saad Bala, M., Gupta, A., Sharma, S., & Mishra, P. (2018). Improved Properties Of Keratin-Based Bioplastic Film Blended With Microcrystalline Cellulose: A Comparative Analysis. *Journal of King Saud University - Science*, 4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364718321001>
- Aluigi, A., Zoccola, M., Vineis, C., Tonin, C., Ferrero, F., & Canetti, M. (2007). Study on the Structure and Properties of Wool Keratin Regenerated from Formic Acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 41(3), 266–273. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2007.03.002>
- Brown, E. M., Pandya, K., Taylor, M. M., Liu, C.-K., Brown, E. M., Pandya, K., Taylor, M. M., & Liu, C.-K. (2016). Comparison of Methods for Extraction of Keratin from Waste Wool. *Agricultural Sciences*, 07(10), 670–679. <https://doi.org/10.4236/as.2016.710063>
- Chávez, K. M., & Tenorio, C. A. (2014). *Estudios para la Obtención de Queratina a partir de Plumas de Pollo con los Métodos de Sulfuro de Sodio y Borohidruro de Sodio a Nivel de Laboratorio- Trabajo de Diploma para optar el Título de Ingeniero Químico* [Universidad de Managua, Nicaragua]. <http://ribuni.uni.edu.ni/1473/1/40042.pdf>
- Dieckmann, E., Eleftheriou, K., Audic, T., Lee, K.-Y., Sheldrick, L., & Cheeseman, C. (2019). New Sustainable Materials from Waste Feathers: Properties of Hot-Pressed Feather/Cotton/Bi-component Fibre Boards. *Sustainable Materials and Technologies*, 20, 107–117. <https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2019.E00107>

- Eslahi, N., Dadashian, F., & Nejad, N. H. (2013). An Investigation on Keratin Extraction from Wool and Feather Waste by Enzymatic Hydrolysis. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(7), 624–648. <https://doi.org/10.1080/10826068.2013.763826>
- Gaidau, C., Epure, D.-G., Enascuta, C. E., Carsote, C., Sendrea, C., Proietti, N., Chen, W., & Gu, H. (2019). Wool Keratin Total Solubilisation for Recovery and Reintegration - An Ecological Approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117586. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.07.061>
- Hamouche, H., Makhoulf, S., Chaouchi, A., & Laghrouche, M. (2018). Humidity Sensor Based on Keratin Bio Polymer Film. *Sensors and Actuators A: Physical*, 282, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.09.025>
- Hill, P., Brantley, H., & Van Dyke, M. (2010). Algunas Propiedades de los Biomateriales de la Queratina. *Biomaterials*, 31(4), 585–593. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.09.076>
- Kim, S. Y., Park, B. J., Lee, Y., Park, N. J., Park, K. M., Hwang, Y.-S., & Park, K. D. (2019). Human Hair Keratin-based Hydrogels as Dynamic Matrices for Facilitating Wound Healing. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 73, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.01.017>
- Kim, W. K., & Patterson, P. H. (2000). Nutritional value of enzyme-or sodium hydroxide-treated feathers from dead hens. *Poultry Science*, 79(4), 528–534. <https://doi.org/10.1093/ps/79.4.528>
- Latshaw, J. D., Musharaf, N., & Retrum, R. (1994). Processing of Feather Meal to Maximize its Nutritional Value for Poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 47(3–4), 179–188. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90122-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90122-8)
- Llerena, J. L., & Monzón, L. J. (2017). *Elaboración de un Envase Biodegradable a partir de Almidón Obtenido de Arroz Quebrado (Oryza Sativa), Queratina obtenida de Residuos*



*Avícolas -Tesis de Grado* [Universidad Católica De Santa María].

<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6666/42.0158.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luis Calle Guadalupe, López, \*Washington Ruiz, & Verduga, K. (2016). Obtención de Termoplásticos a partir de Plumas de Pollo. *Investigación y Desarrollo*, 2(ISSN 1390-7042), 1–4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378111914003060>

Ossa, A., Cano, F., Arango, J., & Montoya, C. (2007). *Estudio Comparativo de las Propiedades Mecánicas de Fibras de Vidrio y Queratina*. 36, 407–412.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903673>

Rahhali, A. (2015). *Valorización de Residuos Queratínicos para la Obtención de Materiales Biocompuestos - Tesis Doctoral*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Ramakrishnan, N., Sharma, S., Gupta, A., & Alashwal, B. Y. (2018). Keratin based Bioplastic Film from Chicken Feathers and its Characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 352–358.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813017344288>

Reddy, N., Jiang, Q., Jin, E., Shi, Z., Hou, X., & Yang, Y. (2013). Bio-Thermoplastics from Grafted Chicken Feathers for Potential Biomedical Applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 110, 51–58. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2013.04.019>

Saavedra Alemán, M. J., Ladino Ospina, Y., & Moreno Rodríguez, L. (2010). Conociendo el Mundo de los Polímeros: Unidad Didáctica como una Estrategia para el Aprendizaje. *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, 28. <https://doi.org/10.17227/ted.num28-1076>

Serra, L. (2014). *Aplicación de un Nuevo Biomaterial a un Producto - Proyecto Final de Grado* [Universitat Politècnica de Catalunya, España].

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22175/laura.serra\\_102507.pdf?sequen](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22175/laura.serra_102507.pdf?sequen)

ce=1&isAllowed=y

Shanmugasundaram, O. L., Zameer Ahmed, S., Sujatha, K., Ponnmurugan, P., Srivastava, A., Ramesh, R., Sukumar, R., & Elanithi, K. (2018). Fabrication and Characterization of Chicken Feather Keratin/Polysaccharides Blended Polymer Coated nonwoven Dressing Materials for Wound Healing Applications. *Materials Science and Engineering: C*, 92, 26–33. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2018.06.020>

Shokuhin, N., & Gakkaishi, K. (1977). *Intermediate Filament Proteins* (ScholarlyEditions (ed.); 1st ed.). [https://books.google.com.pe/books?id=kdcDMOet8bcC&pg=PA30&lpg=PA30&dq=Nippon+Shokuhin+Kogyo+Gakkaishi+1977;+24+\(1\):+40-50&source=bl&ots=wr\\_iBYU6iS&sig=ACfU3U2\\_wDVjfq9Ca8bd8A0u9tFKrXxHRg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiCsr6y2fTkAhVE2qwKHUvbC-wQ6AEwCnoECAkQAQ#v=](https://books.google.com.pe/books?id=kdcDMOet8bcC&pg=PA30&lpg=PA30&dq=Nippon+Shokuhin+Kogyo+Gakkaishi+1977;+24+(1):+40-50&source=bl&ots=wr_iBYU6iS&sig=ACfU3U2_wDVjfq9Ca8bd8A0u9tFKrXxHRg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiCsr6y2fTkAhVE2qwKHUvbC-wQ6AEwCnoECAkQAQ#v=)

Singh, V., Wang, S., & Ng, K. W. (2017). Queratina como Biomaterial. In *Comprehensive Biomaterials II* (pp. 542–557). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09317-6>

Stevens, E. (2002). *Green plastics : An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics* (1st ed.). Princeton University Press. [https://books.google.com.pe/books?id=AFO9Cajtv6EC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22E.+S.+Stevens%22&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjM\\_NOZn\\_LiAhWGM1kKHTyACNMQ6AEILTAB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=AFO9Cajtv6EC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22E.+S.+Stevens%22&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjM_NOZn_LiAhWGM1kKHTyACNMQ6AEILTAB#v=onepage&q&f=false)

Tachibana, A., Furuta, Y., Takeshima, H., Tanabe, T., & Yamauchi, K. (2002). Fabrication of Wool Keratin Sponge Scaffolds for longTerm Cell Cultivation. *Journal of Biotechnology*, 93(2), 165–170. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00395-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00395-9)

Valencia, M. B. (2018). Obtención de Queratina a partir de Plumas de la Industria Avícola mediante Hidrólisis Enzimática- Trabajo de Título de Ingeniería Ambiental en Prevención y

Remediación [Universidad Privada del valle, La Paz]. In *Universidad de las Américas*.  
<http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8723/1/UDLA-EC-TIAM-2018-03.pdf>

Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Temas Agrarios. In *Temas Agrarios*.  
Universidad de Cordoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR2015C00044>

Wang, J., Hao, S., Luo, T., Yang, Q., & Wang, B. (2016). Desarrollo de Nanopartículas de Queratina de Plumas. *Materials Science and Engineering: C*, 68, 768–773.  
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.07.035>

Wu, P., Dai, X., Chen, K., Li, R., & Xing, Y. (2018). Fabricación de Membranas de Nanofibras de Queratina de Lana Regenerada. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1168–1173. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.157>

Zhuang, Y., Wu, X., Cao, Z., Zhao, X., Zhou, M., & Gao, P. (2013). Preparación y Caracterización de Esponjas hechas de Plumas. *Materials Science and Engineering: C*, 33(8), 4732–4738. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.07.032>