

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEÚTICAS, BIOQUÍMICAS Y**  
**BIOTECNOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA**



**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 (*MANGIFERA INDICA*)**

**TESIS PRESENTADA POR LOS  
BACHILLERES:**

**Llerena Gonzales, José Luis**

**Monzón Martínez, Lalo José**

**Para optar el Título Profesional de  
INGENIERO BIOTECNÓLOGO**

**ASESOR: Ing. Javier Roque Rodríguez**

**AREQUIPA - PERU**

**2017**

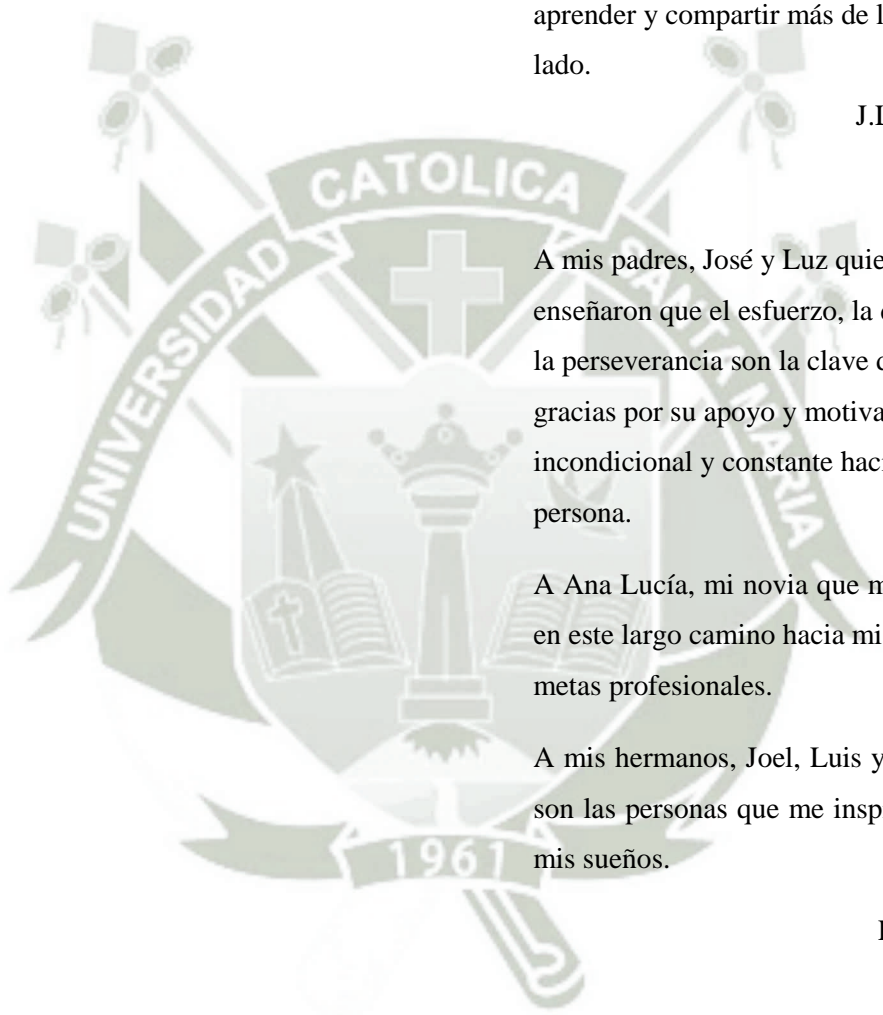
## DEDICATORIA

A mis queridos padres, José y Ninfa, por su apoyo incondicional

A mis hermanos, Percy y Yarlina, por su comprensión.

A mis estimados amigos, por permitirme aprender y compartir más de la vida a su lado.

J.L. LL.G



A mis padres, José y Luz quienes me enseñaron que el esfuerzo, la dedicación y la perseverancia son la clave del éxito, gracias por su apoyo y motivación incondicional y constante hacia mi persona.

A Ana Lucía, mi novia que me acompaña en este largo camino hacia mis objetivos y metas profesionales.

A mis hermanos, Joel, Luis y Natalie que son las personas que me inspiran a seguir mis sueños.

L.J.M.M

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía y darme la salud necesaria para poder cumplir una de mis metas.

A mi familia, a mis padres por su apoyo; quienes me dieron todo lo que en sus manos estaba para poder alcanzar mis objetivos, por su comprensión y paciencia, por haberme inculcado mis valores y principios.

A mi tía, Rosa por sus constante apoyo y recordatorios para culminar este proyecto.

A nuestro asesor el Ing. Javier Roque, por su orientación en la tesis desarrollada

A la Sra. Luisa, por su constante apoyo en el laboratorio.

A nuestros grandes amigos, Chris, Ana Lucía, Marcia, Alonso, Rodrigo, Aldo, por su amistad y ánimos brindados en toda esta etapa.

A mis Amigos de trabajo, con quienes comparto grandes experiencias en mi camino laboral en especial a Génesis, gracias por tu complicidad y apoyo para poder alcanzar y terminar una de mis metas.

Y sobre todo, Gracias a mi hermano Lalo, por tu perseverancia, tus enseñanzas y tu paciencia. Te agradezco no solo por la ayuda brindada sino por los buenos momentos compartidos a lo largo de todo este tiempo que nos tomó culminar nuestra investigación.

Jose Luis y Lalo

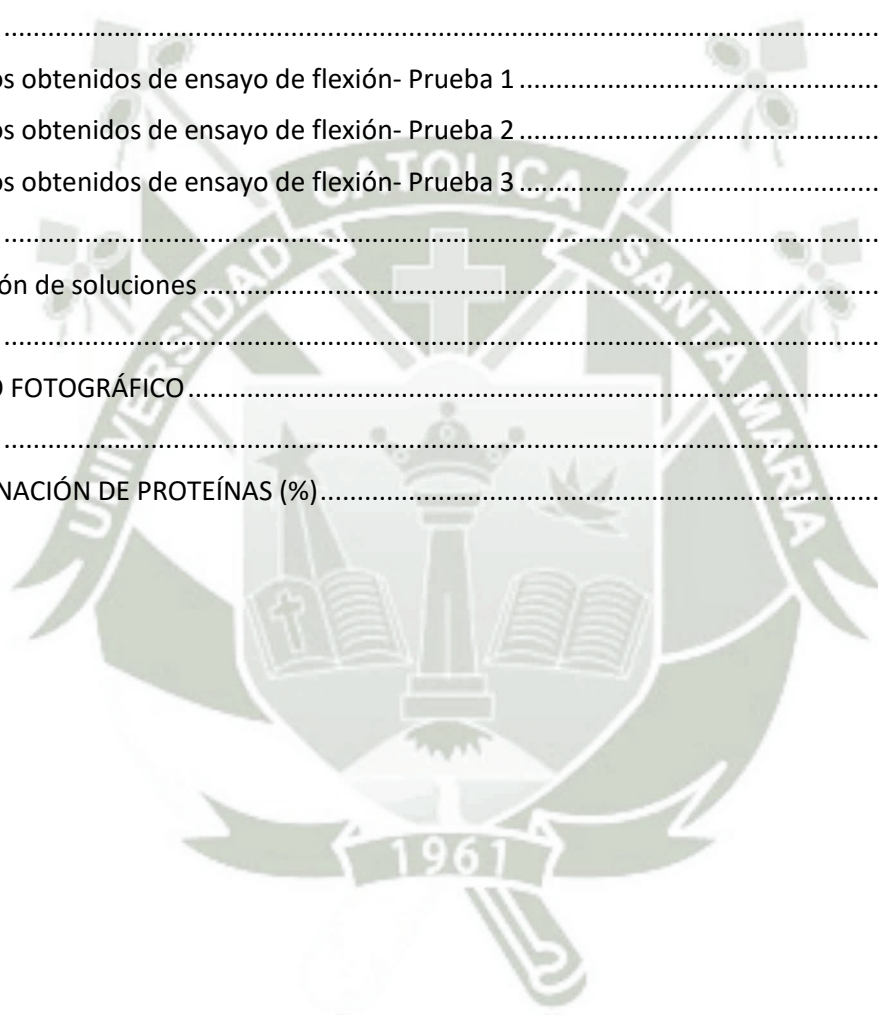
## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE FÓRMULAS .....	x
ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO I .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1.    Plástico .....	7
1.1.1.    Propiedades mecánicas de materiales.....	7
1.1.1.1.    Tensión y deformación.....	8
1.1.1.2.    Curvas de tensión-deformación.....	9
1.1.1.3.    Módulo de Young.....	9
1.1.1.4.    Ensayos de Flexión.....	10
1.1.1.5.    Dureza de Shore .....	10
1.2.    Biopolímeros .....	10
1.3.    Tipos de biopolímeros.....	11
1.3.1.    Azúcares .....	11
1.3.2.    Producidas por bacterias.....	12
1.3.3.    Celulosa.....	12
1.3.4.    Quitina.....	13
1.3.5.    Proteínas .....	14
1.3.5.1.    Características de las proteínas.....	14

1.3.5.2.	Estructura .....	15
1.4.	Residuos de arroz quebrado .....	19
1.4.1.	Almidón.....	20
1.4.2.	Modificación del almidón .....	22
1.4.3.	Gelatinización.....	23
1.4.4.	Retrogradación .....	23
1.4.5.	Almidón termoplástico (TPS) .....	24
1.4.6.	Limitaciones del almidón .....	25
1.5.	Residuos de plumas de pollo .....	25
1.5.1.	Plumas de pollo .....	26
1.5.3.	Plástico de plumas de pollo .....	27
1.5.4.	Queratina .....	28
1.5.4.1.	Estructura de la queratina .....	29
1.5.4.2.	Reacciones de la queratina .....	30
1.5.4.3.	Aplicaciones de la queratina.....	33
1.6.	Residuos de cáscara de mango .....	35
1.7.	Material biodegradable.....	36
1.8.	Plásticos biodegradables .....	36
1.9.	Biodegradación de polímeros.....	37
CAPÍTULO II	.....	39
MATERIALES Y MÉTODOS.....		39
2.1.	Lugar de ejecución .....	39
2.2.	Materiales .....	39
2.3.	Métodos .....	40
2.4.	Extracción de almidón de residuos de arroz (arroz quebrado).....	40
2.4.1.	Recolección de materia prima .....	40
2.4.2.	Preparación de la muestra.....	41
2.4.3.	Trituración.....	41
2.4.4.	Filtración .....	41
2.4.5.	Reposo.....	41
2.4.6.	Decantación.....	42
2.4.7.	Lavado.....	42
2.4.8.	Secado .....	42

2.4.9.	Molienda.....	43
2.5.	Obtención de Queratina a partir de residuos avícolas (Plumas de pollo).....	43
2.5.1.	Recolección de materia prima .....	43
2.5.2.	Pretratamiento de las plumas de pollo.....	44
2.5.3.	Acondicionamiento y trituración de las plumas .....	44
2.5.4.	Método sulfuro de sodio.....	45
2.5.5.	Adición de sulfato de amonio.....	45
2.5.6.	Prueba de Biuret.....	47
2.6.	Recuperación de cáscaras de mango .....	47
2.6.1.	Recolección de materia prima .....	47
2.6.2.	Tratamiento de las cáscaras de mango .....	47
2.7.	Elaboración del bioplástico .....	47
2.7.1.	Bioplástico de almidón.....	47
2.7.2.	Bioplástico de almidón con queratina soluble.....	48
2.7.3.	Bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscara de mango .....	49
2.7.4.	Caracterización del bioplástico .....	50
2.7.4.1.	Tracción.....	50
2.7.4.2.	Flexión.....	50
2.7.4.3.	Dureza .....	51
2.8.	Construcción de un envase escala pequeña .....	51
CAPÍTULO III .....		54
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		54
3.1.	Extracción de almidón de residuos de arroz (arroz quebrado) .....	54
3.2.	Obtención de Queratina a partir de residuos avícolas (Plumas de pollo).....	55
3.3.	Elaboración del bioplástico .....	57
3.3.1.	Bioplástico de almidón.....	57
3.3.2.	Bioplástico de almidón con queratina soluble.....	58
3.3.3.	Bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscara de mango .....	60
3.4.	Caracterización del bioplástico obtenido .....	62
3.4.1.	Ensayo de tracción .....	62
3.4.2.	Ensayo de flexión.....	67
3.4.3.	Ensayo de dureza-Método Shore A.....	70
3.5.	Comparación del módulo de Young del bioplástico con plásticos comerciales.....	72

CAPÍTULO IV .....	74
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES .....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	76
ANEXO 1 .....	81
Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 1.....	81
Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 2.....	85
Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 3.....	90
ANEXO 2 .....	94
Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1 .....	94
Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2 .....	106
Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3 .....	121
ANEXO 3 .....	133
Preparación de soluciones .....	133
ANEXO 4 .....	134
REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	134
ANEXO 5 .....	139
DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (%).....	139



## ÍNDICE DE TABLAS

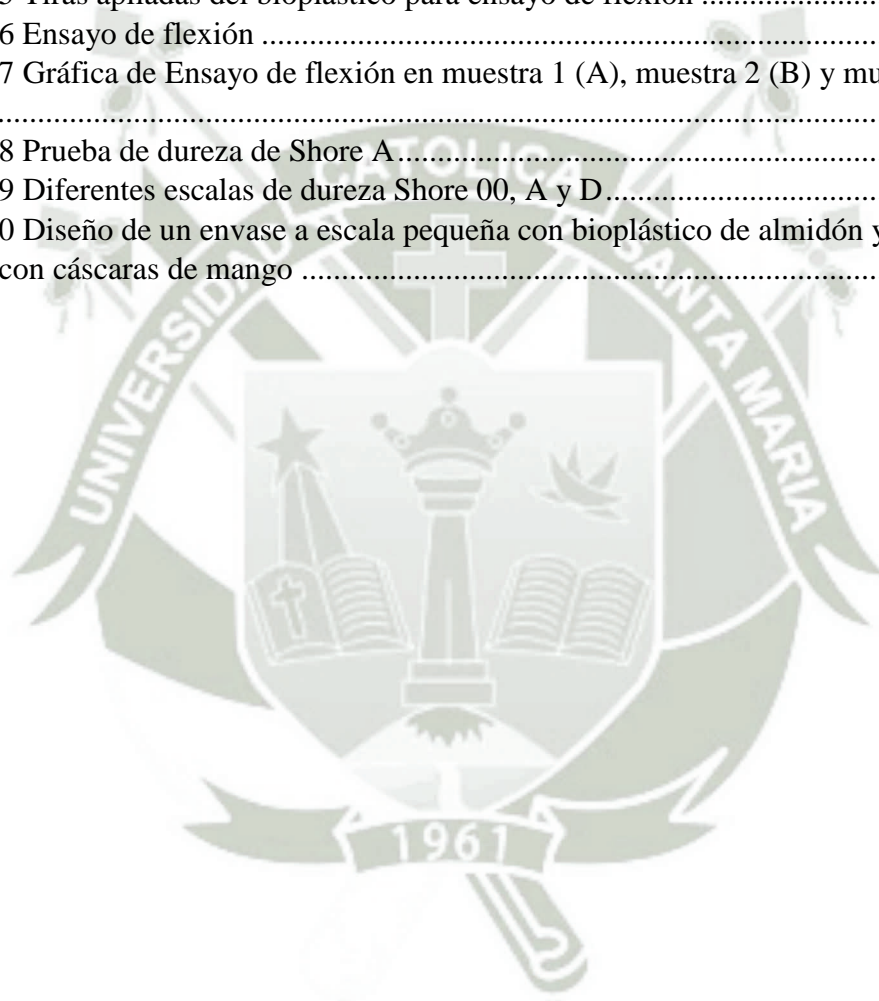
TABLA 1 Comparación de Polisacáridos, Proteínas y Polímeros .....	18
TABLA 2 Rendimiento de extracción de almidón de arroz quebrado .....	54
TABLA 3 Rendimiento de extracción de queratina de plumas de pollo .....	55
TABLA 4 Evaluaciones directas en las diferentes formulaciones del almidón .....	57
TABLA 5 Evaluaciones directas en las diferentes formulaciones del almidón con queratina .....	58
TABLA 6 Evaluaciones directas en las diferentes formulaciones del almidón con queratina fortificado con cáscaras de mango .....	60
TABLA 7 Medidas de las probetas del bioplástico .....	63
TABLA 8 Resultados de ensayo de tracción del bioplástico .....	66
TABLA 9 Medidas de las láminas para el ensayo de tracción .....	68
TABLA 10 Resultados del ensayo de flexión .....	70
TABLA 11 Resultado de dureza de bioplástico .....	71
TABLA 12 Comparación del Módulo de Young del bioplástico con plásticos comerciales .....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Usos de materiales biodegradables .....	11
FIGURA 2 Celulosa .....	13
FIGURA 3 Estructura de la Quitina .....	14
FIGURA 4 Estructura del quitosano .....	14
FIGURA 5 Estructura primaria de las proteínas .....	15
FIGURA 6 Estructura secundaria (alfa-helicoidal) de las proteínas .....	16
FIGURA 7 Giro beta y estructura secundaria beta de las proteínas .....	17
FIGURA 8 Rendimiento del arroz en el molino. ....	19
FIGURA 9 Estructura de amilosa.....	21
FIGURA 10 Estructura de amilopectina .....	22
FIGURA 11 Estructura y partes de una pluma.....	27
FIGURA 12 Estructura de la fibra de queratina .....	28
FIGURA 13 Estructura primaria de la queratina .....	29
FIGURA 14 Estructura terciaria de la queratina .....	30
FIGURA 15 Clasificación de Biopolímeros.....	38
FIGURA 16 Pesado y licuado de arroz quebrado .....	41
FIGURA 17 Precipitado de almidón proveniente de arroz quebrado .....	42
FIGURA 18 Almidón extraído de arroz quebrado .....	42
FIGURA 19 Almidón extraído de arroz quebrado .....	43
FIGURA 20 Almidón en polvo .....	43
FIGURA 21 Plumas de pollo .....	44
FIGURA 22 Adición de nitrógeno líquido .....	44
FIGURA 23 Plumas de pollos en agitación en sulfuro de sodio .....	45
FIGURA 24 Adición de sulfato de amonio en solución de plumas de pollo con sulfuro de sodio. ....	46
FIGURA 25 Obtención de queratina .....	46
FIGURA 26 Bioplástico de almidón .....	48
FIGURA 27 Diferentes formulaciones 1→4 de almidón .....	48
FIGURA 28 Bioplástico de almidón con queratina soluble .....	49
FIGURA 29 Bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscaras de mango .....	49
FIGURA 30 Diagrama de procesos de obtención de bioplástico base de Almidón-Queratina-Cáscaras de mango .....	53
FIGURA 31 Almidón en polvo .....	55
FIGURA 32 Obtención de queratina .....	56
FIGURA 33 Obtención de queratina .....	56
FIGURA 34 Bioplástico de almidón .....	57
FIGURA 35 Formulaciones de Almidón con queratina soluble .....	59
FIGURA 36 Lámina de Almidón con queratina soluble .....	59
FIGURA 37 Almidón con queratina soluble secado con radiación solar.....	60

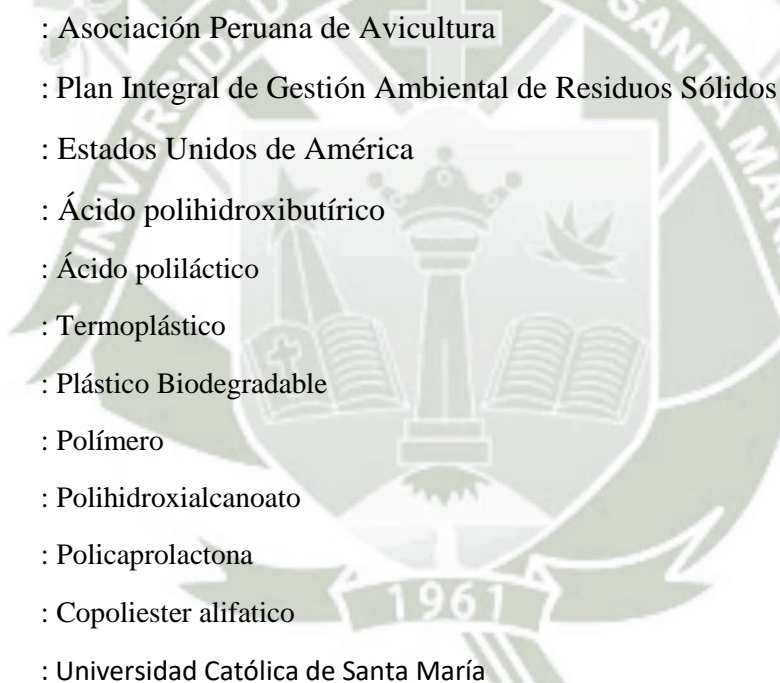
FIGURA 38 Diferentes formulaciones de biopolímero de Almidón-Queratina- Cáscaras de mango (F9→F11) .....	61
FIGURA 39 Lámina de Almidón (F10) con queratina soluble secado fortificado con cáscaras de mango .....	61
FIGURA 40 Compresora y molde para ensayos de tracción para la generación de probetas normalizadas .....	62
FIGURA 41 Probetas de bioplástico para ensayo de tracción.....	63
FIGURA 42 Equipo de tracción y flexión.....	64
FIGURA 43 Gráfica de tensión-deformación de la probeta 1(A), 2 (B) y 3 (C).....	65
FIGURA 44 Ensayo de tracción en las probetas de bioplástico.....	67
FIGURA 45 Tiras apiladas del bioplástico para ensayo de flexión .....	67
FIGURA 46 Ensayo de flexión .....	68
FIGURA 47 Gráfica de Ensayo de flexión en muestra 1 (A), muestra 2 (B) y muestra 3 (C) .....	69
FIGURA 48 Prueba de dureza de Shore A.....	71
FIGURA 49 Diferentes escalas de dureza Shore 00, A y D.....	71
FIGURA 50 Diseño de un envase a escala pequeña con bioplástico de almidón y queratina fortificado con cáscaras de mango .....	73



## ÍNDICE DE FÓRMULAS

- (1)  $\delta$  : Fórmula de Esfuerzo
- (2) A : Fórmula de Área
- (3) R : Fórmula de Resistencia, tracción.

## ABREVIATURAS



APA	: Asociación Peruana de Avicultura
PIGARS	: Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos
EUA	: Estados Unidos de América
PHB	: Ácido polihidroxitubúrico
PLA	: Ácido poliláctico
TPS	: Termoplástico
EDP	: Plástico Biodegradable
BPC	: Polímero
PHA	: Polihidroxicanoato
PCL	: Policaprolactona
PBSA	: Copoliéster alifático
UCSM	: Universidad Católica de Santa María

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en la elaboración de un envase con materiales biodegradables donde se utilizó diferentes residuos que se generan en diversas actividades económicas como son la agricultura (arroz quebrado), avícola (plumas de pollo) y comercial (cáscaras de frutas: mango). En la investigación se aplicaron métodos para la extracción de almidón y queratina, donde se determinó el rendimiento de obtención, donde se demostró que se puede conseguir rendimientos adecuados (35.24% y 8.29% respectivamente) para la elaboración de envases, se hicieron los experimentos por triplicado. Una vez obtenidos el almidón y queratina, se procedió a determinar las proporciones adecuadas para poder obtener láminas del bioplástico, se observó que las proporciones adecuadas de almidón y queratina fueron de 40gr y 4 ml respectivamente. Luego se procede a fortificar la mezcla almidón-queratina con diferentes proporciones de cáscaras de mango (5, 10 y 20gr), de las cuales la más óptima para la elaboración de láminas fue la proporción de 10gr. Las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico fueron las siguientes: 40gr de almidón, 4 ml de queratina, 10gr de cáscaras de mango además de aditivos como glicerina, ácido acético al 5% y agua destilada, el primero cumple una función de plastificante y los otros permiten que se dé una hidrólisis ácida para poder atacar las ramificaciones de la amilopectina presente en el almidón. El secado de la mezcla se hizo en una malla de serigrafía la cual es de suma importancia debido a que permite el secado completo de la mezcla, durante la experimentación se usaron varios recipientes como placas Petri, envase de vidrio, aluminio, donde el secado no era muy óptimo, lo que limitaba su uso en las pruebas de caracterización, esto porque las condiciones para realizar las pruebas es que el material este completamente seco. Una vez obtenida la lámina del bioplástico se procedió a la caracterización con pruebas mecánicas para evaluar su comportamiento. Se realizaron ensayos de tracción (gráficas de tensión-deformación), ensayos de flexión y dureza (Shore A). Los resultados indicaron que el bioplástico tiene un comportamiento dúctil con poca resistencia a la tracción, flexión elevada y una dureza media, lo cual permite elaborar envases de pequeña escala. Finalmente se construyó un envase con el bioplástico obtenido donde se observó que es una alternativa prometedora para la elaboración de envases degradables.

**PALABRAS CLAVE:** Arroz, Plumas de pollo, Almidón, Queratina, Bioplástico

## ABSTRACT

In the present research work consisted of developing a container with biodegradable materials are used where different waste generated in various economic activities such as agriculture (broken rice), poultry (chicken feathers) and commercial (fruits: mango shells). In the research is applied methods for the extraction of starch and keratin, where is determined the performance of obtaining, where is showed that is can get yields adequate (35.24% and 8.29% respectively) for the preparation of containers, is made them experiments by tripled. Once obtained the starch and keratin, proceeded to determine the proper proportions for the biopolymer films, it was noted that the appropriate proportions of starch and keratin were 40 gr and 4 ml respectively. Then is comes to fortify the mix starch-keratin with different proportions of shells of handle (5, 10 and 20 gr), of which the more optimal for the elaboration of blades was the proportion of 10 gr. The optimal proportions for the elaboration of the biopolymer were as follows: 40gr of starch, 4 ml of keratin, 10gr of shells of mango in addition to additives like Glycerin, acetic acid 10% and distilled water, the first acts as a plasticizer and others allow which is an acid hydrolysis addressing the ramifications of present in the starch amylopectin. Drying the mixture was done in a mesh is screen printing which is important since it allows the complete drying of the mixture, during experimentation several vessels like Petri dishes, glass, aluminum, where the drying was not very optimal, were used which limited its use in the characterization test, this because the conditions for testing is that this completely dry material. A time obtained the blade of the biopolymer is proceeded to the characterization with tests mechanical to evaluate their behavior. (Stress-strain graphs) tensile tests, were carried out bending and hardness (Shore A) tests. The results indicated that the biopolymer has a behavior ductile with little resistance to the traction, bending high and a hardness half, which allows develop containers of small scale. Finally built a container with the retrieved biopolymer where was that it is a promising alternative for the production of biodegradable containers.

**KEY WORDS:** Rice, Feathers of chicken. Starch, keratin, bioplastic.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la humanidad a través de los avances tecnológicos, ha traído por consecuencia efectos negativos sobre la misma como la escasez de recursos no renovables y la contaminación del medio ambiente, entre otros. Sobre este último, uno de los problemas es el incremento de la basura producida por los diferentes tipos de desechos como consecuencia de los altos niveles de vida que el hombre ha alcanzado. La persistencia en el ambiente de productos a base de petroquímicas, específicamente los plásticos, es una gran problemática de la sociedad moderna. Una vez utilizados los plásticos, los desechos de estos representan un contaminante en muchos ecosistemas, suelos, lagos y océanos. En estos últimos, existen reportes de diversos daños y muertes en animales como aves y mamíferos marinos, estimándose que un 30% de los peces en los océanos del mundo tienen pedazos de plástico en su estómago, el cual interfiere con su digestión (1) (2) (3).

Por otro lado, durante las últimas décadas ha habido un continuo incremento en la elaboración de productos a base de plásticos utilizados principalmente para el empaque de diversos productos. Esto ha traído como consecuencia un incremento inherente en la cantidad de desechos plásticos, los cuales afectan la composición en la relación volumen:peso de la basura (4) (5).

La problemática que se plantea, es la elevada producción de plásticos en sus diversas formas debido a la alta demanda y acumulación de estos productos en el medio ambiente, además el incremento de nuestra exportación agroindustrial genera también miles de toneladas de desechos al año, si bien son procesadas algunas como alimento para animales, en zonas donde no existe la tecnología necesaria se puede aprovechar estos residuos para darles un valor agregado como por ejemplo los residuos de arroz generando almidón. En el Perú, la actividad agrícola del arroz genera una gran cantidad de residuos, y esto está aumentando, lo que genera que se incremente los residuos de arroz, los cuales en su mayoría son quemados, o se arrojan al mar o ríos, lo que genera una gran contaminación al ambiente.

Por otro lado, en la industria avícola, según la APA (Asociación Peruana de Avicultura) a junio del 2012 hubo un aumento a 49 millones 175,485 pollos en comparación de hace 10 años que fue de 25 millones debido al incremento de la población. Además, según el “Boletín estadístico mensual de la producción y comercialización avícola-2016” en el mes de enero del año 2016, la producción avícola se incrementó en 3,9% con relación a lo obtenido en

similar mes del año anterior. Este incremento se debe principalmente al impulso generado por la producción de pollo (2,5%), pavo (95,0%) y huevo de gallina para consumo (2,8%) (6). Este incremento favorece los niveles de nutrición de los peruanos, pero lo que no se ve son las grandes cantidades de desechos producidos por las avícolas, sabiendo que las plumas representan aproximadamente el 7-10% del peso del animal, estos residuos son simplemente quemados ocasionando malos olores, contaminación, o en el mejor de los casos son tratados en cierta forma como alimento para mascotas o relleno de almohadas.

Además, a esta problemática se le suma la generación de residuos orgánicos de mercados como residuos de pulpas y cáscaras que no son aprovechados. En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos (7), los cuales generan graves problemas, no sólo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores. Se estima que los servicios de disposición, tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos mueven mundialmente un mercado anual de 100000 millones de dólares, de los cuales 43000 millones corresponden a Norteamérica, 42000 millones a la Unión Europea y sólo 6000 millones a Suramérica, siendo la producción de residuos de 250, 200 y 150 millones de toneladas por año respectivamente (7).

Los residuos sólidos que se producen diariamente en los mercados (generalmente residuos orgánicos) son sobre todo de origen vegetal y están constituidos por frutas y verduras que no alcanzan la calidad necesaria para su comercialización debido, por ejemplo, a su alto estado de madurez; igualmente estos residuos están constituidos por diferentes estructuras vegetales de desecho (cáscaras, tallos, semillas, etc.). Los polisacáridos contenidos en este tipo de materiales pueden ser aprovechados por medio de la transformación enzimática de los complejos amiláceos (8) y celulósicos (9) en azúcares que posteriormente son fermentados hasta alcohol u otros productos de valor agregado.

La mayoría de investigaciones sobre residuos orgánicos realizadas tanto en los países desarrollados como en Perú, han concentrado sus esfuerzos en la transformación de estos residuos a biogás y compost (10) (11) (12) (13) (14) (15). Igualmente, se han llevado a cabo estudios para el diseño de procesos de conversión de residuos sólidos municipales a alcohol, algunos de los cuales han sido patentados para su implementación a nivel comercial (16).

Sin embargo, la mayoría de estos procesos se limita al tratamiento de la celulosa mediante hidrólisis ácida y no explora la utilización de enzimas ni la potencialidad de hidrolizar el almidón presente en los residuos sólidos de origen vegetal.

Según el Plan Integral de Gestión ambiental de residuos sólidos de Arequipa-2004, en los mercados de los diferentes distritos de la ciudad se generan un total de 75.29 t/d de los cuales aproximadamente el 30-40% son orgánicos (17), los cuales no son tratados ni aprovechados siendo trasladados a un relleno sanitario donde ocasiona un impacto ambiental al momento de descomponerse.

Se podría decir que los factores que han originado el estudio de esta problemática son el incremento en los precios y la disminución en los abastos de petróleo, incremento del área destinada al cultivo de arroz originando el incremento de residuos como arrocillo así como el incremento en el consumo de pollo y la generación de residuos orgánicos como pulpas o cáscaras de frutas en los mercados de la ciudad esto aunado a las necesidades de productos más aceptables desde un punto de vista ambiental. Entre las soluciones propuestas para reducir el impacto ambiental de los desperdicios plásticos y aprovechamiento de residuos se incluyen la reducción de su uso, el reciclaje, la incineración, el composteo y la degradación ambiental. Esta última se refiere a la foto-degradación o ataque por radiaciones ultravioleta y a la biodegradación o ataque por microorganismos (4) (18)

Sobre este último punto las investigaciones se han abocado a la búsqueda de materiales que presenten las principales características de los plásticos pero que no sean dañinos al ambiente, así es como surgen los llamados "plásticos biodegradables". La introducción de polímeros naturales dentro de matrices poliméricas sintéticas y el procesamiento de estas para dar como producto final un plástico, fueron las bases del desarrollo de los plásticos biodegradables. Investigaciones realizadas principalmente en EUA, llevaron a la elaboración de diversas formulaciones a base de polímeros sintéticos y almidón como componente biodegradable. El almidón fue utilizado debido a sus propiedades fisicoquímicas y a la producción elevada. Sin embargo, existen otros polisacáridos naturales relacionados con el almidón que presentan un potencial para la elaboración de estos productos debido a su naturaleza química y biológica, como ejemplo se encuentran la celulosa, lignina, pectina, pululan y quitina; polisacáridos que en algunos casos son considerados contaminantes por su acumulación en el ambiente, ya que no se les ha dado un uso práctico (19).

El impacto ecológico que tendría la fabricación y utilización de plásticos biodegradables a base de residuos aprovechables de las diferentes actividades económicas de la ciudad sería de gran beneficio para disminuir los problemas de contaminación, ya que se estima que los plásticos recalcitrantes se acumulan en el medio ambiente a una velocidad de 25 millones de toneladas por año y aunque no se conoce el tiempo requerido por estos compuestos para su total mineralización a  $\text{CO}_2$ , se supone que el uso de plásticos biodegradables disminuiría la contaminación por estos productos en un 20%. Además, una reducción en el volumen del componente plástico en los desperdicios sólidos municipales, puede promover la capacidad adicional en dichos basureros para el manejo de otro tipo de desperdicios. Por último, la explotación del potencial que brindan materias primas de origen animal y vegetal como las plumas de pollo y cáscaras de frutas en la elaboración de plásticos biodegradables crea una perspectiva al manejo de este tipo de materiales, los cuales son abundantes en nuestro país y cuya aplicación no está totalmente explotada.

Por todo lo anterior mencionado es importante desarrollar materiales poliméricos a partir de materiales renovables biodegradables por lo que el presente trabajo está dirigido a la elaboración de materiales biodegradables a partir de recursos naturales renovables, que presenta características plásticas (20). De los polisacáridos seleccionados para el desarrollo de esta investigación el almidón es el único que ha sido ampliamente utilizado; sin embargo, existe poca literatura sobre el uso de queratina extraída de plumas de pollo con aprovechamiento de residuos de cáscaras de frutas para elaborar con mezclas de diferentes formulaciones de almidón para elaborar plásticos biodegradables. Por lo tanto, la originalidad del presente trabajo radica en la integración de estas mezclas para elaborar láminas biodegradables y construir un envase a escala pequeña.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Elaborar un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de residuos de arroz quebrado (*oryza sativa*), queratina obtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (*Mangifera Indica*)

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el almidón de “arroz quebrado” (*Oryza sativa*) y queratina de plumas de pollo.
- Determinar rendimientos de obtención de queratina y almidón.
- Elaborar el bioplástico con diferentes cantidades de almidón, queratina y cáscaras de mango.
- Determinar la proporción óptima de almidón, almidón-queratina y almidón-queratina-cáscaras para la elaboración de biopolímeros.
- Determinar las propiedades del bioplástico como: espesor, tracción, flexión, dureza, entre otros.
- Construir un modelo de envase a escala pequeña con el bioplástico

## HIPÓTESIS

Dado la baja biodegradabilidad de los plásticos comerciales, ocasionando grandes problemas de contaminación, los bioplásticos presentan mayor biodegradabilidad los cuales pueden ser elaborados con residuos biodegradables como son las plumas de pollo, cáscaras de fruta (mango) y almidón de residuos de arroz (*Oryza sativa*) siendo un tema de investigación relevante es por eso que se plantea esta alternativa de solución



## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Plástico

El plástico es un polímero que se caracteriza por poseer propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlo y adaptarlo a diferentes formas y aplicaciones por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo, la celulosa, la cera y el caucho natural (hule) o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas, polvo o en disolución.

La industria del plástico posee los índices más grandes de crecimiento desde principios del siglo pasado, superando la mayoría de las otras actividades industriales y materiales.

En 1990 la producción mundial alcanzó los 100 millones de ton. y hoy en día ya supera los 160 millones de ton. Encontrándose sólo por debajo del consumo del hierro y el acero. Esta industria ha abarcado el mercado del vidrio, el papel y metal debido a sus características mecánicas.

Hoy en día, hay millones de productos desarrollados a partir del plástico para los cuales son utilizados millones de litros de petróleo. Más aun considerando que este es un elemento no biodegradable su acumulación es perceptible a todo nivel. Por esto mismo en algunos países tales como Canadá, Australia y Hong Kong han disminuido el consumo de productos plásticos como las bolsas plásticas. A si mismo grandes empresas tales como SONY han desarrollado plástico a base de elementos orgánicos para la fabricación de aparatos electrónicos con un menor impacto ambiental.

##### 1.1.1. Propiedades mecánicas de materiales

Muchos materiales, cuando prestan servicio, están sometidos a fuerzas o cargas, ejemplos de ello son las aleaciones de aluminio con las cuales se construyen las alas de los aviones, el acero de los ejes de los automóviles o las vigas y pilares de los edificios. En tales situaciones es necesario conocer las características del material y diseñar la pieza de tal manera que cualquier deformación resultante no sea excesiva y no se produzca la rotura. El

comportamiento mecánico o las propiedades mecánicas de un material reflejan la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (o sea, su deformación). Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez.

La respuesta de los materiales a las fuerzas aplicadas depende de

- 1.- Tipo de enlace.
- 2.- Disposición estructural de los átomos o moléculas.
- 3.- Tipo y número de imperfecciones, que están siempre presentes en los sólidos, excepto en raras circunstancias.

Así, fijada la sollicitación exterior es evidente que la deformación que se origina y, en consecuencia, la tensión creada en el sólido elástico depende de las fuerzas de atracción molecular, es decir, de la estructura cristalina del material. A pesar de la considerable complejidad de los materiales ingenieriles todos los materiales sometidos a cargas se pueden clasificar en tres grupos principales de acuerdo con el mecanismo que ocurre durante su deformación bajo las fuerzas aplicadas:

- a. Materiales elásticos (p. e. los cristales iónicos y covalentes).
- b. Materiales elastoplásticos (p. e. los metales estructurales).
- c. Materiales viscoelásticos (P. e. los plásticos, los vidrios).

A su vez los tipos básicos de deformación de los materiales como respuesta a las fuerzas aplicadas son tres:

- a. Elástico.
- b. Plástico.
- c. Viscoso

#### **1.1.1.1. Tensión y deformación**

Si una fuerza o carga es estática o bien cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza, el comportamiento mecánico del material puede ser estimado mediante un simple ensayo tensión- deformación. Por tanto, para obtener la relación entre tensión y deformación tendremos que proceder necesariamente por vía experimental

mediante ensayos realizados en el laboratorio, en donde se comprueba, en efecto, que, para dos piezas de distintos materiales, de iguales dimensiones y sometidas al mismo estado de cargas, las deformaciones son distintas. En los ensayos de compresión y de tracción el esfuerzo, se mide como la fuerza,  $F$ , actuando por unidad de área ( $A$ ), es decir:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Las tensiones de tracción causan en la pieza una elongación perpendicular a su propia dirección, mientras que los de compresión dan lugar a una contracción. (21)

#### **1.1.1.2. Curvas de tensión-deformación**

Las curvas tensión - deformación, usualmente, se obtienen mediante ensayos de laboratorio realizados mediante normas estandarizadas y utilizando probetas también estandarizadas. Se fijan la velocidad de carga y la temperatura.

Los ensayos se pueden realizar con cargas de compresión, tracción, flexión y cortadura, que a su vez pueden ser estáticas o dinámicas. Los ensayos de compresión, tracción y flexión con cargas estáticas son los que más se suelen realizar.

Los ensayos de tracción se realizan con los materiales dúctiles con un cierto grado de plasticidad, tales como los materiales metálicos ferrosos y no ferrosos, plásticos, gomas, fibras, etc. los ensayos de compresión y flexión se realizan con los materiales frágiles, tales como los materiales refractarios, el hormigón, cerámicos, etc. estos materiales poseen una baja resistencia a la tracción en comparación con la de compresión. (22)

#### **1.1.1.3. Módulo de Young**

Si aplicamos una fuerza  $F$  a una barra de longitud  $L_0$  el material se deforma longitudinalmente y se alarga  $L_f - L_0$ . La razón de proporcionalidad entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y deformación unitaria (deformación por unidad de longitud) está dada

por la constante  $E$ , denominada módulo de Young, que es característico de cada material (23).

#### **1.1.1.4. Ensayos de Flexión**

El ensayo de flexión se usa para determinar las propiedades de los materiales frágiles en tensión. Se pueden observar un módulo de elasticidad y una resistencia a la flexión (Similar a la resistencia a la tensión). El ensayo de flexión se basa en la aplicación de una fuerza al centro de una barra soportada en cada extremo, para determinar la resistencia del material hacia una carga estática o aplicada lentamente. Normalmente se usa para materiales frágiles. Módulo de elasticidad: Módulo de Young o la pendiente de la parte lineal de la curva esfuerzo-deformación en la región elástica. Es una medida de la rigidez de un material; depende de la fuerza de los enlaces interatómicos y de la composición, y no depende mucho de la microestructura. La resistencia a la flexión es un esfuerzo necesario para romper un espécimen en un ensayo de flexión. También se le conoce como módulo de ruptura (21).

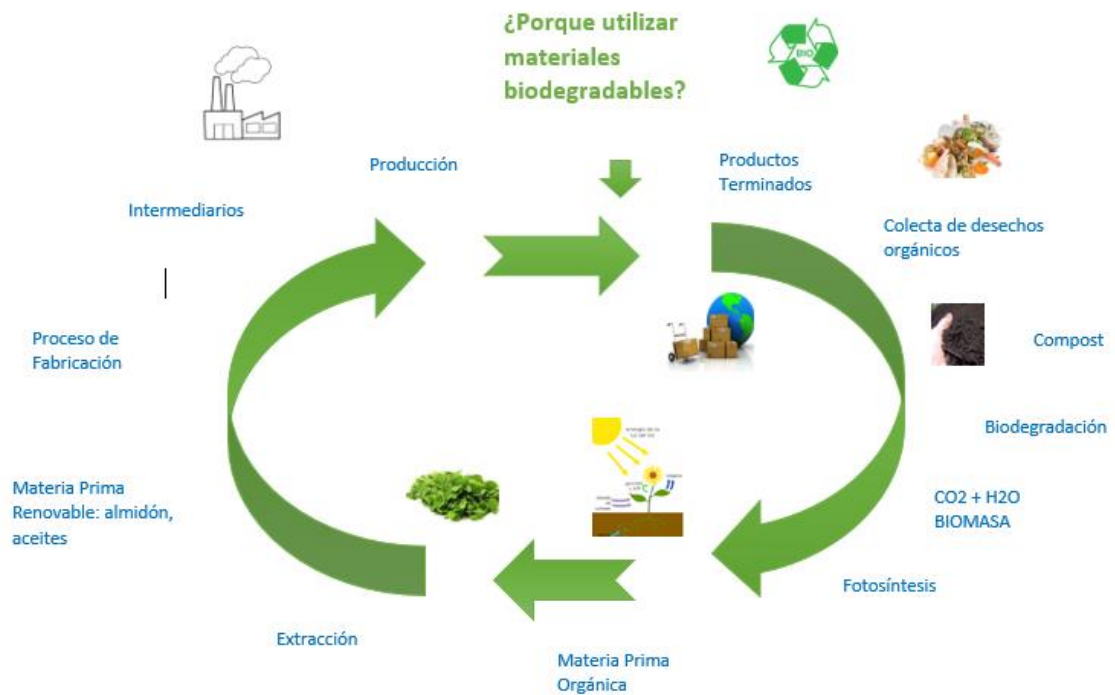
#### **1.1.1.5. Dureza de Shore**

La dureza Shore es una escala de medida de la dureza elástica de los materiales, determinada a partir de la reacción elástica del material cuando se deja caer sobre él un objeto. Durante el ensayo, no destructivo, se mide la altura a la que rebota el proyectil. Esta depende de la cantidad de energía absorbida por el material de ensayo durante el impacto (24).

### **1.2. Biopolímeros**

Los Biopolímeros son sustancias de diferentes orígenes, algunos derivados del petróleo, origen vegetal y origen microbiológico. Los biopolímeros son polímeros presentes dentro de los organismos vivos o sintetizados por ellos. Los principales son los provenientes de recursos renovables (recursos naturales capaces de renovarse

naturalmente en una tasa comparable a la tasa de consumo) que se pueden polimerizar para fabricar bioplásticos. Los biopolímeros o bien provienen de organismos naturales, o los imitan presentando funciones similares al material del que proceden. Los biopolímeros se caracterizan por ser compatibles con los tejidos humanos y de degradarse en unos tiempos establecidos, posteriores a su implantación, transformándose en metabolitos no tóxicos que son eliminados por nuestro organismo.



**FIGURA 1 Usos de materiales biodegradables<sup>1</sup>**

### 1.3. Tipos de biopolímeros

#### 1.3.1. Azúcares

Los biopolímeros a base de azúcar son a menudo difíciles en lo que respecta a la convención. Los polímeros del azúcar pueden ser lineales o ramificado se ensamblan típicamente con enlaces glucosídicos. Sin embargo, la colocación exacta del acoplamiento puede variar y la orientación de los grupos

<sup>1</sup> Extraído de: <http://documentslide.com/documents/biopolimeros-en-fibras-textiles.html>

funcionales que se ligan es también importante, dando por resultado los enlaces del  $\alpha$ - y  $\beta$ -glucosídicos con la enumeración definitiva de la localización de los carbonos que se ligan en el anillo. Además, muchas unidades de polisacáridos pueden experimentar variación de la modificación química, por ejemplo, aminación, y puede incluso formar las partes de otras moléculas, por ejemplo, glicoproteínas.

### 1.3.2. Producidas por bacterias

Existe un tipo de bacterias que son capaces de sintetizar celulosa en ausencia de luz. En la actualidad se está estudiando este proceso de síntesis y considerando el cultivo de estas bacterias. El empleo de estas fibras en el sector papelerero, se traduce en papeles que ven incrementado su módulo de Young hasta el punto de poderse comparar con el papel de aluminio, propiedades debidas a sus características moleculares. En el campo textil se están empleando sobre todo en artículos que imitan la piel, y su introducción en “no tejidos” hace que también se empleen en el interior de altavoces o micrófonos.

Existe una bacteria que como reserva alimenticia produce poliéster, concretamente PHB. Se trata de una fibra muy fina. A diferencia del resto de las fibras naturales posee la propiedad de fundir a  $180^{\circ}$  C lo que permite conferirle la forma de cualquier otra fibra sintética, presenta una elevada biodegradabilidad aspecto beneficioso para el ecosistema y en medicina no provoca rechazos. La obtención de plantas de algodón que sean capaces de producir fibras de algodón/poliéster se está estudiando por Monsanto (USA), están transfiriendo genes de esta bacteria a la planta. En la actualidad se han obtenido algodones con gránulos de poliéster PHB.

### 1.3.3. Celulosa

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que hace que sea insoluble en agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales.

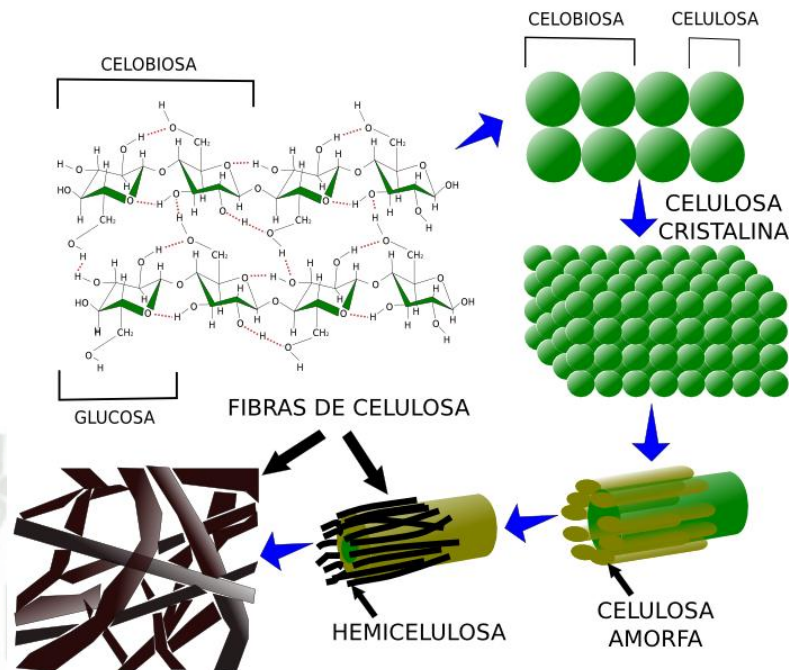


FIGURA 2 Celulosa<sup>2</sup>

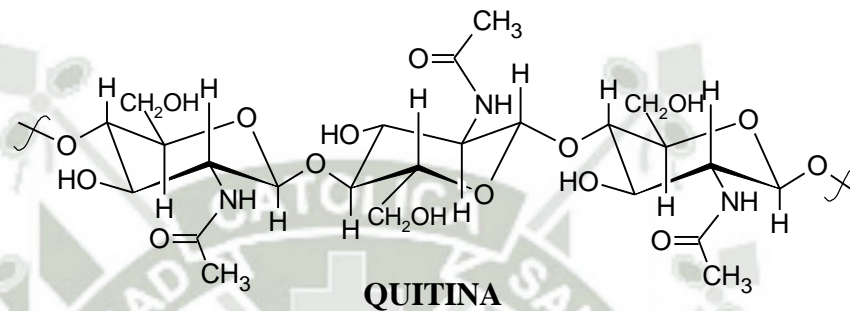
#### 1.3.4. Quitina

Es un polisacárido, compuesto de unidades de N-acetilglucosamina (exactamente, Nacetil-D-glucos-2-amina). Éstas están unidas entre sí con enlaces  $\beta$ -1,4, de la misma forma que las unidades de glucosa componen la celulosa. Así, puede pensarse en la quitina como en celulosa con el grupo hidroxilo de cada monómero reemplazado por un grupo de acetilamina. Esto permite un incremento de los enlaces de hidrógeno con los polímeros adyacentes, dándole al material una mayor resistencia.

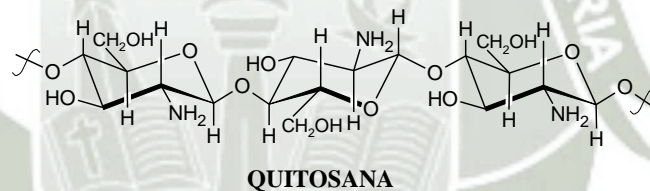
En 1926 se obtuvieron fibras de quitina, pero no se comienza a estudiar con profundidad hasta 1970. En la actualidad continúan en estudio sus posibles aplicaciones, entre los principales usos destaca su utilización para la filtración de agua del grifo, hilos para puntos de sutura que no precisan ser retirados, agrotexiles de rápida descomposición, curación de heridas o en papel. Existen no tejidos de quitina que se suelen aplicar como piel artificial, por su buena

<sup>2</sup> Extraído de: <http://documentslide.com/documents/biopolimeros-en-fibras-textiles.html>

adherencia al cuerpo humano, estimula el crecimiento de la piel, reduce el dolor y no produce rechazo. Su derivado, el quitosano, también se emplea el sector textil, aplicado sobre las fibras de lana actúa como suavizante e incrementa el rendimiento de la tintura. A las fibras de algodón les proporciona mayor estabilidad dimensional y aumenta el agotamiento en la tintura, lo que se traduce en vertidos de menor carga contaminante con su consiguiente contribución medioambiental.



**FIGURA 3 Estructura de la Quitina<sup>3</sup>**



**FIGURA 4 Estructura del quitosano<sup>4</sup>**

### 1.3.5. Proteínas

Son biopolímeros, formados por gran número de unidades estructurales repetitivas, debido a su gran tamaño, cuando estas moléculas se dispersan en un disolvente adecuado, forman siempre dispersiones coloidales, con características que las diferencian de las disoluciones de moléculas más pequeñas (25).

#### 1.3.5.1. Características de las proteínas

<sup>3</sup> Extraído de: <http://documentslide.com/documents/biopolimeros-en-fibras-textiles.html>

<sup>4</sup> Extraído de: <http://documentslide.com/documents/biopolimeros-en-fibras-textiles.html>

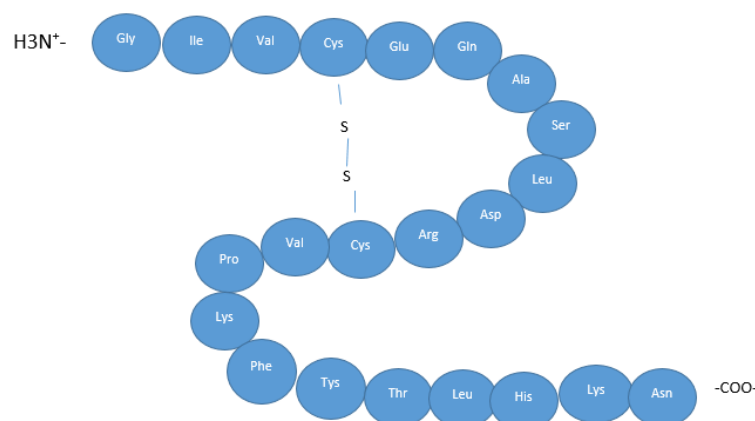
Las proteínas son largas cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos entre el grupo carboxilo (-COOH) y el grupo amino (-NH<sub>2</sub>) de residuos de aminoácido adyacentes.

Por hidrólisis, las moléculas de proteína se dividen en numerosos compuestos relativamente simples, de masa molecular pequeña, que son las unidades fundamentales constituyentes de la macromolécula, estas unidades son los aminoácidos, de los cuales existen veinte especies diferentes y que se unen entre sí mediante enlaces peptídicos. Cientos y miles de estos aminoácidos pueden participar en la formación de la gran molécula polimérica de una proteína (25).

### 1.3.5.2. Estructura

La organización de una proteína viene definida por cuatro niveles estructurales denominados: estructura primaria, estructura secundaria, estructura terciaria y estructura cuaternaria. Cada una de estas estructuras informa de la disposición de la anterior en el espacio.

**a. Estructura primaria:** La estructura primaria es la secuencia de aminoácidos de la proteína. Nos indica qué aminoácidos componen la cadena polipeptídica y el orden en que dichos aminoácidos se encuentran. La función de una proteína depende de su secuencia y de la forma que ésta adopte.

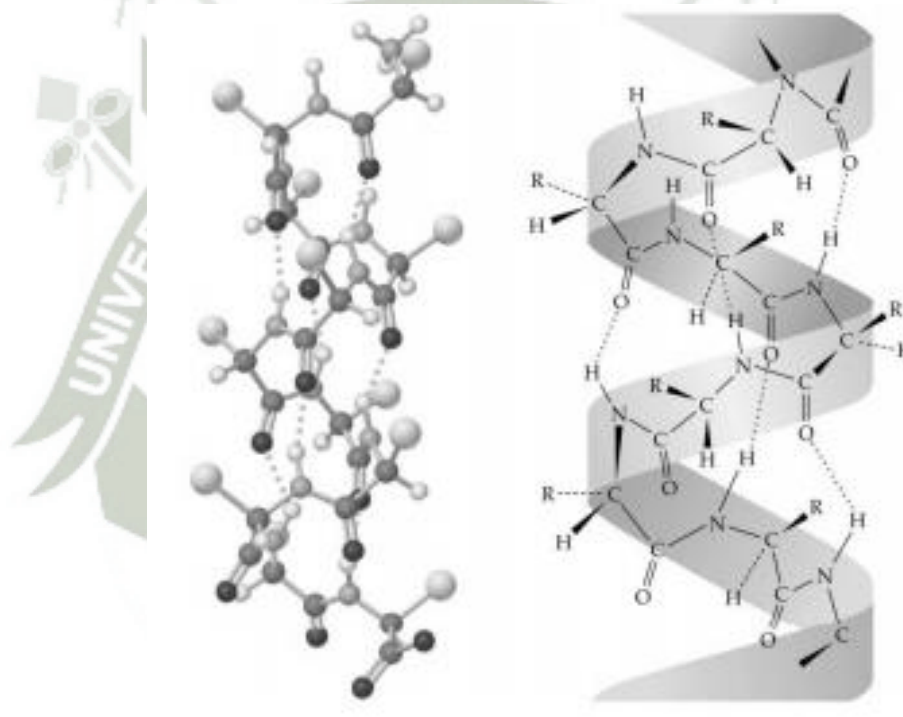


**FIGURA 5** Estructura primaria de las proteínas<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Fuente: Benitez, 2008

**b. Estructura secundaria:** La estructura secundaria es la disposición de la secuencia de aminoácidos en el espacio. Los aminoácidos, a medida que van siendo enlazados durante la síntesis de proteínas y gracias a la capacidad de giro de sus enlaces, adquieren una disposición espacial estable, la estructura secundaria. Existen dos tipos de estructura secundaria:

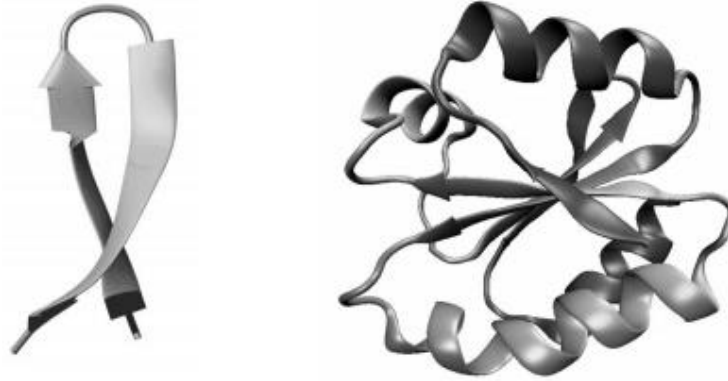
-La estructura alfa-hélice. - Esta estructura se forma al enrollarse helicoidalmente sobre sí misma la estructura primaria. Se debe a la formación de enlaces de hidrógeno entre el  $-C=O$  de un aminoácido y el  $-NH-$  del cuarto aminoácido que le sigue.



**FIGURA 6** Estructura secundaria (alfa-helicoidal) de las proteínas <sup>6</sup>

-La estructura beta: En esta disposición los aminoácidos no forman una hélice sino una cadena en forma de zigzag, denominada disposición en lámina plegada. Esta estructura secundaria presenta la queratina de la seda o fibroína.

<sup>6</sup> Fuente: Benitez, 2008



**FIGURA 7** Giro beta y estructura secundaria beta de las proteínas <sup>7</sup>

El giro beta permite un cambio de dirección de la cadena peptídica, necesario para que adopte una estructura más compacta y las hebras beta están representadas como flechas, conectadas a través de dobleces y giros beta. c) Estructura terciaria. - Esta corresponde a la disposición de la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma originando una conformación globular, la que facilita la solubilidad en agua y así realizar funciones de transporte, enzimáticas, hormonales, etc.

**c. Estructura terciaria:** Esta corresponde a la disposición de la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma originando una conformación globular, la que facilita la solubilidad en agua y así realizar funciones de transporte, enzimáticas, hormonales, etc. Esta conformación globular se mantiene estable gracias a la existencia de enlaces entre los radicales R de los aminoácidos. Los varios tipos de enlaces son:

- Unión disulfuro entre los radicales de aminoácidos que tienen azufre.
- Puentes de hidrógeno.
- Unión iónica.
- Interacciones hidrófobas.

---

<sup>7</sup> Fuente: Benitez, 2008

**d. Estructura cuaternaria:** Esta corresponde al complejo proteico, 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 en la hexoquinasa); cuatro (como en la hemoglobina), o muchos, (como la cápsida del virus de la poliomielitis, que tiene sesenta unidades proteicas).

**TABLA 1 Comparación de Polisacáridos, Proteínas y Polímeros<sup>8</sup>**

Material	Propiedades	Aplicaciones	Eliminación	Referencia
<b>Almidón</b>	Propiedades mecánicas similares a plásticos convencionales. Resistente a grasas y alcoholes.	Menaje, envasado de alimentos, cuidado personal, bolsas de basura, etc.	Compostable	Novamont. Bistec GmbH. National Starch & Chemical
<b>Celulosa</b>	Posibilidad de transparente, traslúcido y opaco. Frágil en congelación. Buen aislante	Asas de cubiertos, bolígrafos, recubrimientos, etc.	Biodegradable	Mazzuccheli 1849.
<b>Proteínas</b>	Resistente.	Botones, cajas, asas.	Reciclado	Universal Textile Technologies. Biopolymer.
<b>PHAs</b>	Posibilidad de combinar hasta 100 monómeros diferentes	Menaje, Cuchilla de afeitar Botella de champú	Compostaje Degradación en agua	Metabolix (Biopol). P & G.
<b>PLA</b>	Claridad Buena estética (Brillo) Frágil, requiere aditivos	Films y materiales de envase	Reciclaje, compostaje o incineración	Cargill Dow LLC. Neste Corp.

<sup>8</sup> Extraído de:

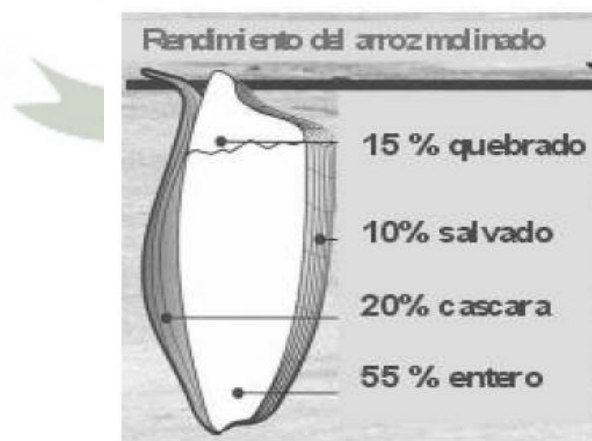
<http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wp/EA5AA4C869FCF58FC12570DE003E4DB4?Op=fulltext>

#### 1.4. Residuos de arroz quebrado

El Perú cuenta con una elevada producción de arroz (1'955 mil t/año), siendo los principales productores los departamentos de Piura, Lambayeque, la libertad y San Martín que representan aproximadamente el 66% de la producción nacional (26).

Para el aprovechamiento de arroz quebrado para la obtención de almidón se debe conocer los residuos que se producen en el proceso de cultivo de arroz como son la cascarilla, arroz quebrado, polvillo, así como su composición para ser una opción viable. Dichos residuos en su mayoría son quemados o arrojados al río o mar lo que ocasiona una gran contaminación en el ambiente. Más allá de la amplia utilización del grano entero de arroz existen subproductos industriales como el arroz partido y el salvado de arroz, de bajo valor comercial por su escasa funcionalidad. A partir de estos productos se pueden obtener ingredientes que, presentando buenas propiedades nutricionales y funcionales, constituyan un aporte para la industria alimentaria. Es así como la industria procesa el arroz partido y la harina de arroz para la obtención de almidón quedando la proteína como subproducto no aprovechado.

El arroz quebrado representa aproximadamente de 1-2% de la producción de arroz (27), es decir se producen aproximadamente 19.5-39 mil t/año, los cual es una fuente importante de almidón que no es aprovechada, esto debido a que estos residuos son quemados o se destina para alimento de relleno de animales. En la investigación se plantea extraer almidón del arroz quebrado para la fabricación de biopolímeros.



**FIGURA 8** Rendimiento del arroz en el molino.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Fuente: Shih, 2003

Un 14% del peso inicial corresponde a granos partidos y sólo un 58% del producto original se utiliza para alimentación humana.

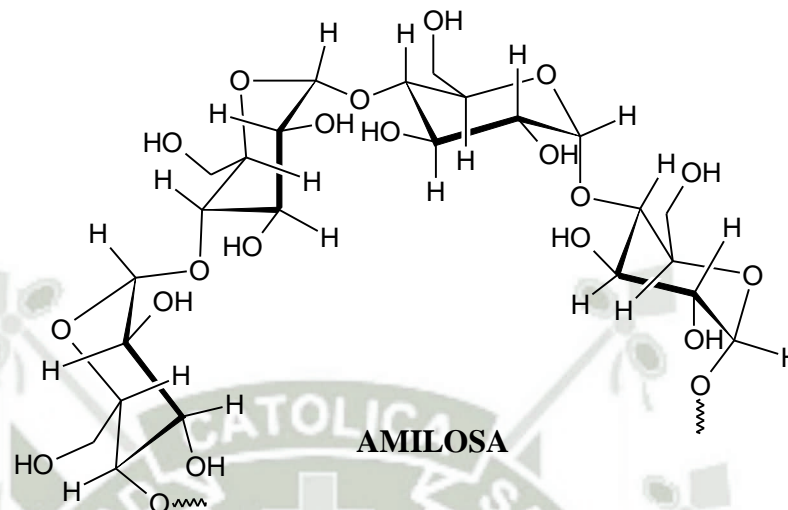
#### 1.4.1. Almidón

El almidón es un carbohidrato importante a nivel mundial debido a su amplio uso en la industria de alimentos, agroquímica y farmacéutica, entre otras. El estudio y la evaluación de las características y propiedades funcionales de este polisacárido son necesarios para poder sugerir posibles usos y aplicaciones industriales del mismo.

El almidón es un polisacárido de reserva energética de los vegetales y se localiza principalmente en raíces, tubérculos, frutas y semillas. En los tejidos vegetales se presenta en entidades discretas, semicristalinas, las cuales reciben el nombre de gránulos. El tamaño, forma y estructura de los gránulos difieren substancialmente con la fuente botánica. Su forma es variada: esféricos o con forma de discos para los de trigo, poliédricos en arroz y maíz, con forma de ostras irregulares en papa, filamentosos en almidón de maíz de alto contenido de amilosa, etc. (28). El almidón está compuesto fundamentalmente por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Los gránulos también contienen trazas de otros constituyentes como lípidos polares, nitrógeno y fósforo, en forma de fosfolípidos, que, en muchas ocasiones, juegan un rol importante en las propiedades funcionales del almidón (29). La relación amilosa/amilopectina y su organización física dentro de la estructura granular, les confieren a los almidones propiedades fisicoquímicas y funcionales características (30).

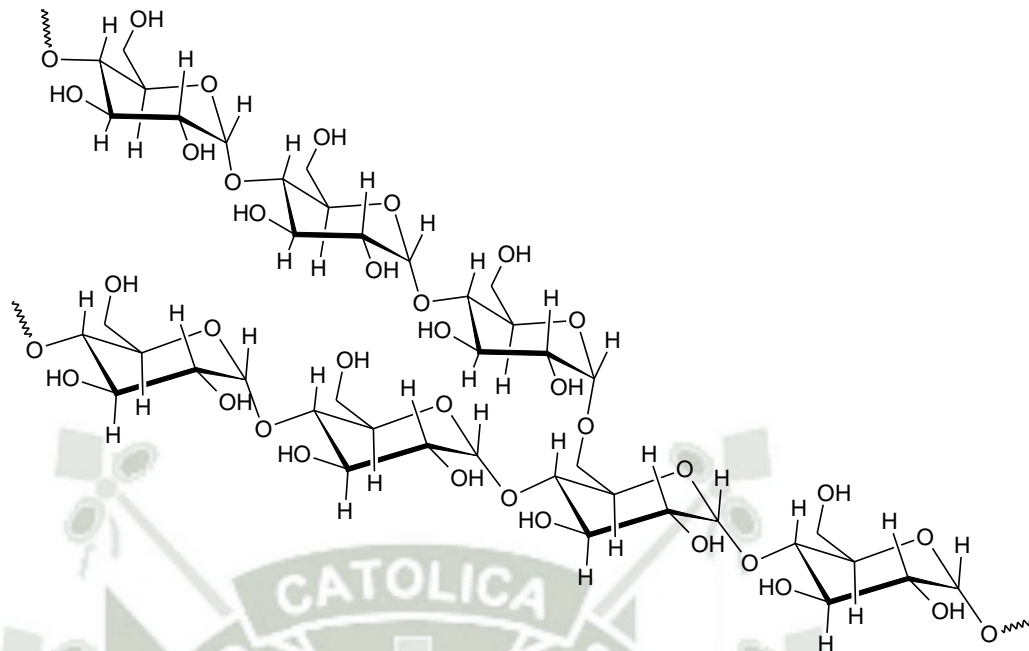
La amilosa (Figura 13) se compone principalmente de cadenas de restos de  $\alpha$ -D-glucopiranosilo unidas por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4). Aunque se admite que se trata de un polímero lineal, existe una pequeña proporción de ramificaciones por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) (31). El tamaño molecular varía entre  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$  Da y puede contener entre 500 y 6000 unidades de glucosa. La naturaleza lineal y de gran longitud le confiere a la amilosa algunas propiedades únicas, como por ejemplo su capacidad para formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos y su tendencia a asociarse consigo misma, precipitando de la

solución. Cuando se enfría, la amilosa presenta una fuerte tendencia a la retrogradación, donde cristaliza formando geles de almidón, aumentando así la viscosidad de la solución.



**FIGURA 9** Estructura de amilosa

La amilopectina (Figura 14) está formada por  $\alpha$ -D-glucosa, concatenada fundamentalmente por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4). Está mucho más ramificada que la amilosa, con un 4-5% de enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6). Se encuentra en una proporción de 70-80% y en ciertos casos alcanza niveles de hasta 98-99%, dependiendo de la fuente botánica del almidón (32). Su estructura y proporción en el almidón contribuyen notablemente a las propiedades funcionales del mismo (33). El peso molecular es del orden de  $10^8$  Da, con aproximadamente 600000 restos de glucosa y se encuentra ramificada al azar. Posee una alta viscosidad intrínseca debido a su estructura ramificada y su alto peso molecular. Por calentamiento en agua, proporciona soluciones claras y de alta viscosidad, que son además filamentosas y cohesivas. Sus soluciones no tienen casi tendencia a la retrogradación, tampoco presentan envejecimiento ni formación de gel, aunque la concentración de las mismas sea muy elevada.



#### ESTRUCTURA DE AMILOPECTINA

**FIGURA 10** Estructura de amilopectina

Los gránulos de almidón son anisotrópicos debido a la presencia de regiones cristalinas en una masa predominantemente amorfa, dando como resultado el fenómeno de doble refringencia o birrefringencia y que a la luz polarizada se evidencie como una cruz de malta (34).

La región cristalina está formada por cadenas de racimos de la amilopectina mientras que la región amorfa por puntos ramificados de la amilopectina y por la amilosa (32). La región cristalina ha sido la más estudiada, además la estructura de los gránulos de almidón y el arreglo de sus componentes permiten explicar las propiedades fisicoquímicas y funcionales, como así también la digestibilidad de los diferentes almidones.

#### 1.4.2. Modificación del almidón

En la industria de alimentos los almidones se han usado ampliamente como agentes espesantes o estabilizantes para proveer a los productos propiedades tales como textura y apariencia (35). Sin embargo, los almidones nativos pueden no ser adecuados para el desarrollo de determinados productos. Una alternativa para mejorar las propiedades y ampliar el uso de este polisacárido consiste en la modificación del almidón mediante métodos químicos o físicos.

La modificación física se realiza mediante calor y humedad (pregelatinización), mientras que los métodos químicos involucran la introducción de grupos funcionales a partir de reacciones de derivatización (eterificación, esterificación, entrecruzamiento, etc.) o de descomposición (hidrólisis ácida o enzimática u oxidación) (36) (37). El estudio y la evaluación de los efectos de las modificaciones sobre la estructura de los gránulos de almidón es necesaria para determinar las propiedades funcionales y desarrollar así almidones con determinadas propiedades específicas.

#### **1.4.3. Gelatinización**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hinchan cuando se calientan en un medio acuoso. Inicialmente el hinchamiento es reversible y las propiedades ópticas del gránulo no se pierden; sin embargo, cuando se alcanza una cierta temperatura, el hinchamiento llega a ser irreversible afectando la estructura del gránulo.

Este proceso es conocido como gelatinización y ocurre en un intervalo de temperatura, ya que los gránulos presentan diferente resistencia debido a su composición y grado de cristalinidad. La gelatinización es un proceso endotérmico que va acompañada de la lixiviación de la amilosa y pérdida de la birrefringencia del gránulo. Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los restos de los gránulos, también hidratados.

La intensidad de la gelatinización depende de la fuente botánica de la que proviene el almidón, del contenido de humedad de la muestra y de ciertas condiciones experimentales tales como pH, presencia de sólidos, etc (38).

#### **1.4.4. Retrogradación**

Varios autores consideran que los geles están compuestos por una matriz de amilosa que contiene gránulos gelatinizados compuestos mayoritariamente por amilopectina (39) (40) (41). El desarrollo de la estructura y cristalinidad de los geles de almidón a corto tiempo está dominado por la gelación y cristalización de la amilosa. Los aumentos en el módulo de elasticidad de los geles durante el almacenamiento están ligados a la cristalización de la

amilopectina, aumentando la rigidez de los gránulos y reforzando la matriz de amilosa (42). La formación de cristales va acompañada por un aumento gradual en la rigidez y la separación de las fases entre el polímero y solvente (sinéresis). Estos procesos se agrupan bajo el término de retrogradación y afectan la textura, digestibilidad y aceptación por el consumidor de los productos a base de almidón. Dada la relevancia en su aspecto tecnológico estos procesos han sido ampliamente estudiados (43) (44) (45) (46).

A nivel molecular se caracteriza por una asociación paralela mediante puentes de hidrógeno de las cadenas de amilosa lixiviadas, produciendo una red tridimensional donde quedan los gránulos hinchados, y dentro de éstos la amilopectina recrystaliza, en un arreglo que dependerá del tipo de almidón y la temperatura a la que se almacenan los productos (47). Eventualmente se forman agregados cristalinos, acompañados por un incremento gradual en la rigidez, opacidad en la suspensión y sinéresis (38) (45). Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada principalmente con su contenido de amilosa, ya que la amilopectina está más limitada debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno entre cadenas adyacentes. Las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida, que requiere de una alta energía para que el almidón gelatinice.

#### **1.4.5. Almidón termoplástico (TPS)**

Durante las últimas décadas, el almidón, polímero anhidroglucosídico, ha atraído considerablemente la atención como material biodegradable para envases, debido a su abundancia y bajo coste. El almidón está compuesto por dos isómeros, amilosa (estructura lineal) y amilopectina (estructura altamente ramificada), cuya proporción depende de la fuente de origen. Como bioplástico, el almidón termoplástico (TPS) puede ser procesado empleando plastificantes y convertido en plástico. El papel de los plastificantes es destruir el almidón granular, mediante la rotura de los puentes de hidrógeno de las macromoléculas de almidón, acompañado de una depolimerización de parte

del almidón. Su naturaleza hidrofílica hace que el TPS sea susceptible a los ataques de la humedad y provoque cambios significantes de estabilidad dimensional y en las propiedades mecánicas. Actualmente existen diferentes variedades de TPS, que combinan poliésteres con almidones nativos de diversos orígenes, como maíz, patata o guisante y que presentan propiedades diferentes. Esta variación hace que el TPS destaque por su versatilidad en sus propiedades, al poder ser modificado fácilmente con aditivos superficiales, además de tener unas buenas propiedades de sellabilidad y de imprimibilidad sin tratamiento superficial. (48)

#### **1.4.6. Limitaciones del almidón**

Los almidones termoplásticos biodegradables derivados del almidón deben tener un porcentaje de amilosa superior del 70% para conseguir una fabricación óptima. Para mejorar las escasas propiedades mecánicas del almidón es común someterlo a modificaciones tanto físicas como químicas. El almidón que contiene únicamente amilopectina, alcanza valores más bajos de torque al ser procesado mediante extrusión. Un almidón con un alto contenido en amilosa alcanza valores mayores de par de torsión, debido a que la viscosidad de la mezcla es mayor por el alto contenido de amilosa del almidón. Un alto contenido en amilosa provoca mayor fuerza de atracción entre los granos de almidón, esto impide la penetración de agua dentro de los gránulos, retrasando lógicamente el proceso de gelatinización durante el proceso de extrusión. Como ya se ha citado anteriormente, los productos fabricados únicamente por almidón tienen diferentes limitaciones. Para combatirlas se hace necesaria añadir diferentes plastificantes que mejoran su flexibilidad y procesabilidad. Los plastificantes añadidos en la fabricación del almidón termoplástico no deben ser incompatibles con el proceso de biodegradación como es lógico (49).

#### **1.5. Residuos de plumas de pollo**

Según el Ministerio de Agricultura (6) la producción avícola se incrementó en un 3.9% respecto al año anterior, en enero del 2016 la producción de ave fue de 144 mil toneladas. Las plumas de pollo son el 7-10% del peso del ave, esto quiere decir que

aproximadamente se estarían produciendo 10-14 mil toneladas de plumas, las cuales en su mayoría son quemadas o en el mejor de los casos se fabrica harina para alimento de animales o relleno de almohadas. Una alternativa ecológica sería aprovechar los componentes de las plumas para fabricar nuevos productos biodegradables.

### **1.5.1. Plumas de pollo**

Las plumas son la característica distintiva de las aves, realmente la única que no comparten con ningún otro grupo de animales. Son las plumas las que les proporcionan su llamativo colorido, protección contra el frío y el calor intensos, les permiten desplazarse fácilmente en el aire y el agua, las esconden de sus enemigos y son también una de las causas de que el hombre las haya domesticado, atrapado y cazado. Al conjunto de plumas se le llama plumaje, que es de vital importancia en aspectos reproductivos y de camuflaje (50).

La pluma es una estructura epidérmica, lo que quiere decir que se deriva de la piel. Se ha mencionado que el antecesor inmediato de las plumas son las escamas de los reptiles, pues crecen de la misma manera y están formadas de la misma sustancia, la queratina, que es la proteína que forma las uñas, el pelo y las escamas en otros grupos de vertebrados. El hecho de que las plumas estén compuestas de este material les permite tener características ventajosas, como mayor duración y resistencia a los efectos del medio (50).

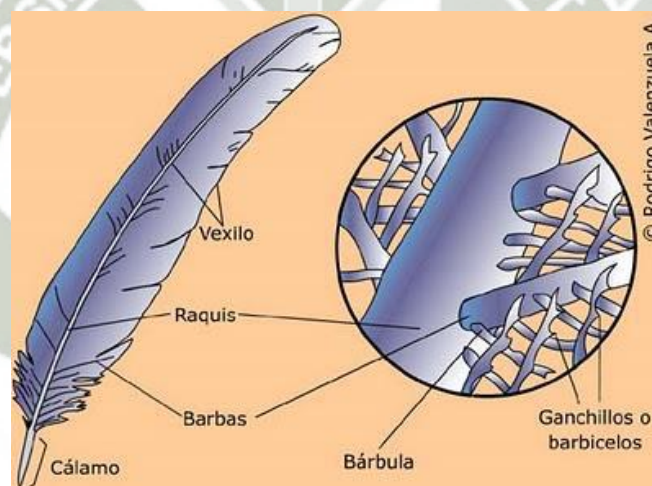
Se cree que la función primordial que tuvieron las plumas cuando aparecieron por primera, y única, vez en el mundo animal fue controlar la temperatura.

### **1.5.2. Estructura de una pluma**

La estructura de una pluma es muy compleja, podríamos decir que se trata de una lámina subdividida finamente en gran cantidad de elementos. En una pluma típica, la parte central es conocida como raquis, que le sirve de eje y tiene el aspecto de una caña hueca; a pesar de ser una estructura muy ligera, le da la rigidez necesaria para mantenerla firme. La parte inferior del raquis es más ancha y hueca, generalmente desnuda se le denomina cálamo o cañón, es la parte por la cual la pluma está insertada en la piel.

El cañón tiene en la parte inferior un orificio denominado ombligo inferior que es por donde la pluma es alimentada durante su crecimiento. El cañón es

hueco, puesto que la pluma es una estructura muerta, como las uñas, y una vez que ha terminado de crecer, los vasos sanguíneos que la alimentaban se retiran y queda el espacio vacío. En la parte superior del cálamo el raquis empieza a aplanarse y encontramos, justo en donde termina el cálamo, otro orificio denominado ombligo superior que es por donde el cuerpo laminar de la pluma emergió al comenzar a crecer. El raquis está relleno de sustancias muertas, pigmentos y proteínas, que quedaron ahí como resultado de su desarrollo. En los márgenes laterales del raquis crece el vexilo, estructura a manera de lámina dividida en dos partes opuestas. Es el cuerpo visible y de mayor área de la pluma, formado por una complicada red de uñas entrelazadas llamadas bárbulas, que dan la textura de un tejido muy ligero con la capacidad de soportar una carga pesada por unidad de área, principio que permite a las aves volar.



**FIGURA 11** Estructura y partes de una pluma<sup>10</sup>

### 1.5.3. Plástico de plumas de pollo

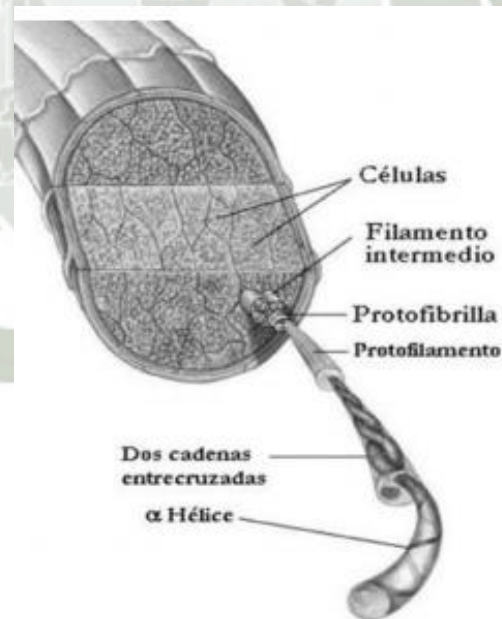
Según el informe de Raúl García Román, desde hace años investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) estudian las estructuras de la pluma de pollo para elaborar a escala industrial diferentes productos plásticos. En la naturaleza, las plumas proveen a las aves de diversas cualidades como la de flotar sobre el agua, protegerlas del frío o calor, la de

<sup>10</sup> Fuente: El uso de plumas tecnológica en edificación, Reynoso, 2011

aerodinámica para emprender y descender su vuelo. Todo ello derivado de un elemento en su estructura molecular, la queratina, una sustancia proteica que también se encuentra en la capa externa de la epidermis y de los tejidos como el cabello y las uñas en los humanos (51). El doctor Víctor Manuel Castaño Meneses, director de ese Centro universitario, comentó que los polímeros o plásticos sintéticos fueron descubiertos a finales del siglo XIX y después de 100 años de existencia son parte fundamental de la vida.

#### 1.5.4. Queratina

Proteína que se presenta en forma de microfibrillas, como si fuesen una maroma o cuerda. Las proteínas siempre están formadas por cadenas de aminoácidos que se enlazan entre sí formando fibrillas. Está muy extendida en la naturaleza: además de encontrarse en la piel, pelo y uñas, se encuentra además en la lana, las plumas, pezuñas, cuernos, etc. La queratina está compuesta básicamente por un aminoácido de alto contenido de azufre. Las queratinas duras contienen entre un 15 o un 18% de azufre, mientras que las blandas sólo tienen entre un 2 y 4%.

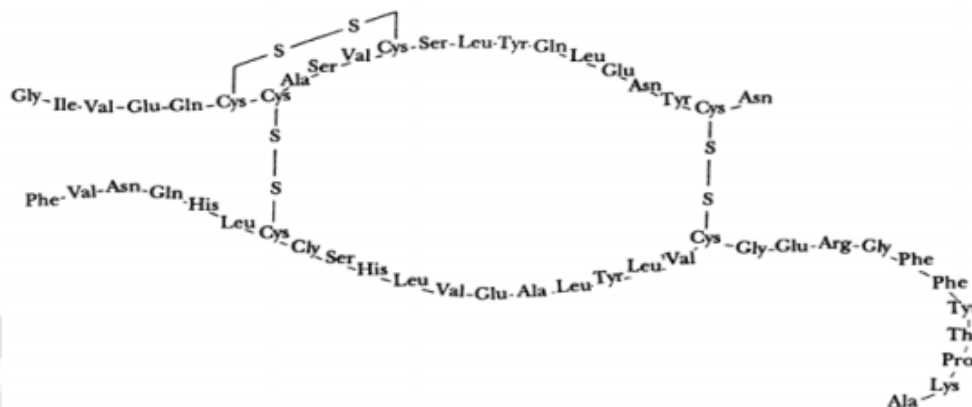


**FIGURA 12** Estructura de la fibra de queratina<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Fuente: Dvorkin,2010

### 1.5.4.1. Estructura de la queratina

- a. **Estructura primaria:** Esta es fundamental para la forma tridimensional de la proteína, cualquier modificación en la secuencia de aminoácidos podría ocasionar un cambio en la estructura tridimensional y afectará la función biológica (52).



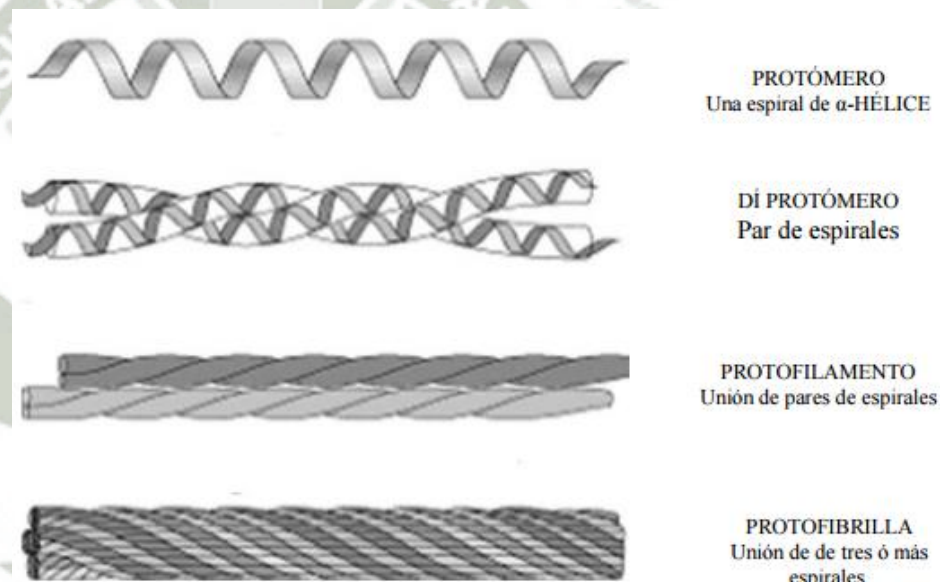
**FIGURA 13 Estructura primaria de la queratina** <sup>12</sup>

Los aminoácidos más abundantes presentes en la queratina son: Glicina 21,5% (Gli), Fenilalanina 3,9% (Fen), Alanina 11% (Ala), Ácido aspártico 9,3% (Asp), Cisteína 12,2% (CiSH), 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:** A medida que la cadena de aminoácidos de queratina se va ensamblando, empiezan a tener lugar interacciones entre los diversos aminoácidos de la cadena. Pueden formarse puentes de hidrógeno, entre el hidrógeno del amino de un aminoácido y el oxígeno del carboxilo de otro.
- c. **Estructura terciaria:** Debido a la interacción de los grupos R de los aminoácidos, la cadena poli peptídica se pliega determinando una intrincada estructura tridimensional. Los protómeros de queratina se unen entre sí para formar dímeros. El dímero es el primer precursor de la gran molécula de la queratina en el que

<sup>12</sup> Fuente: Benitez, 2008

entran en juego varias proteínas. La unión no tiene lugar de cualquier manera, sino de una forma muy concreta: una subunidad ácida se unirá con una subunidad básica. De esta forma, la macromolécula acabará teniendo la misma proporción de subunidades básicas que de subunidades ácidas. Posteriormente, dos dímeros se unirán entre sí para formar tetrámeros. Multitud de tetrámeros se unen entre sí, unos detrás de otros, dando lugar a los protofilamentos, varios protofilamentos se unen entre sí, en grupos de unos cuatro protofilamentos, formando una protofibrilla, a partir de estas protofibrillas bien cohesionadas se formarán las grandes moléculas de queratina uniéndose muchas subunidades y torsionándose formando un trenzado.



**FIGURA 14 Estructura terciaria de la queratina<sup>13</sup>**

#### 1.5.4.2.Reacciones de la queratina (53)

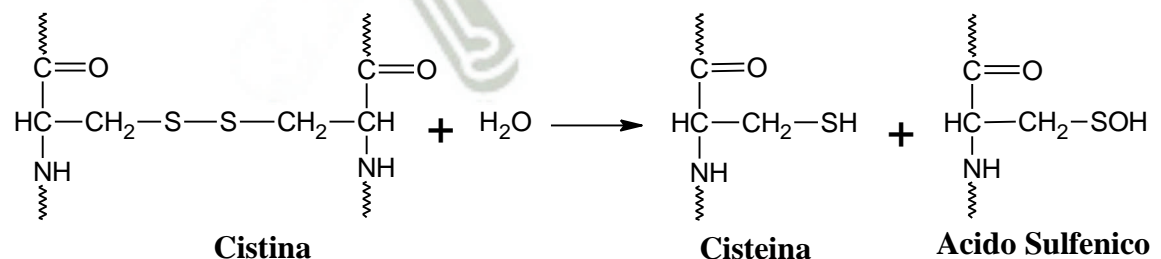
La queratina presenta propiedades exclusivas como proteína debido a la presencia de enlaces tales como:

<sup>13</sup> Fuente: Benitez, 2008

- Enlaces amídicos: Unen un aminoácido con otro para formar la cadena principal, son muy sólidos y solo se rompen con soluciones acuosas concentradas de ácidos y bases fuertes.
- Puentes salinos: se forman entre los grupos de ácidos y básicos de las cadenas laterales. Cuando estos grupos sobrantes no forman enlace amídico, están cerca uno del otro, se origina una atracción entre sus cargas o atracciones electromagnéticas.
- Enlaces di sulfuro: es la unión que existe entre los dos átomos de azufre de la molécula de cistina. Esta unión es fuerte y en la molécula de alfa-queratina suele existir un puente de este tipo cada cuatro vueltas de la espiral.
- Puentes de hidrógeno: se originan por la atracción de átomos con polaridad negativa al hidrógeno con polaridad positiva. Por estos puentes las cadenas no son rectilíneas sino helicoides, girando sobre sí misma como una cinta enrollada. Esta es la alfa-queratina. Estas uniones son débiles en relación a la unión de los aminoácidos y se rompen con facilidad, cuando se mojan con agua, o por estiramiento. Las cadenas que toman así una forma aplanada o estirada, esta forma es la beta-queratina que no es estable y el cabello tiende a recuperar la posición alfa-queratina (54).

**a. Hidrólisis de la queratina**

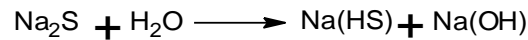
La queratina con agua da una hidrólisis de los enlaces disulfuro de la cistina para producir la cisteína (tiol) y ácido sulfénico.



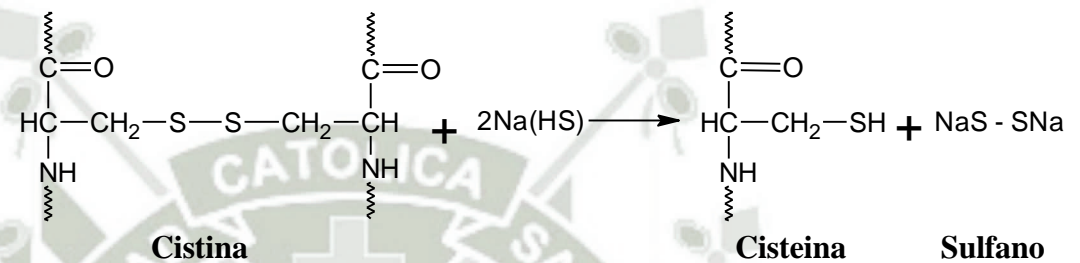
**b. Reducción de la queratina con sulfuro de sodio**

Con el Na<sub>2</sub>S se favorece la degradación de la queratina, mediante las siguientes reacciones consecutivas:

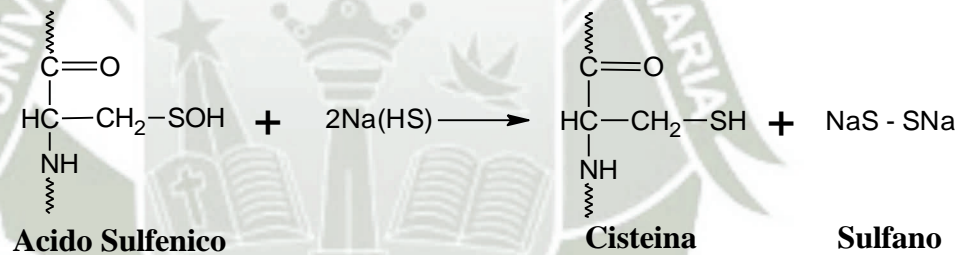
Cuando el Na<sub>2</sub>S se disuelve en agua, se produce el NaHS y el medio es básico.



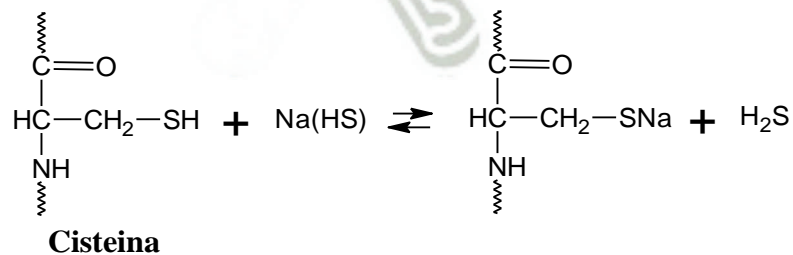
El NaHS reduce la cistina a cisteína.



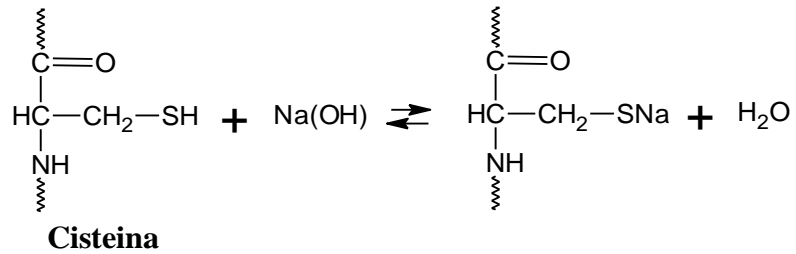
También el NaHS reduce a los ácidos sulfénicos, ayudando a la hidrólisis.



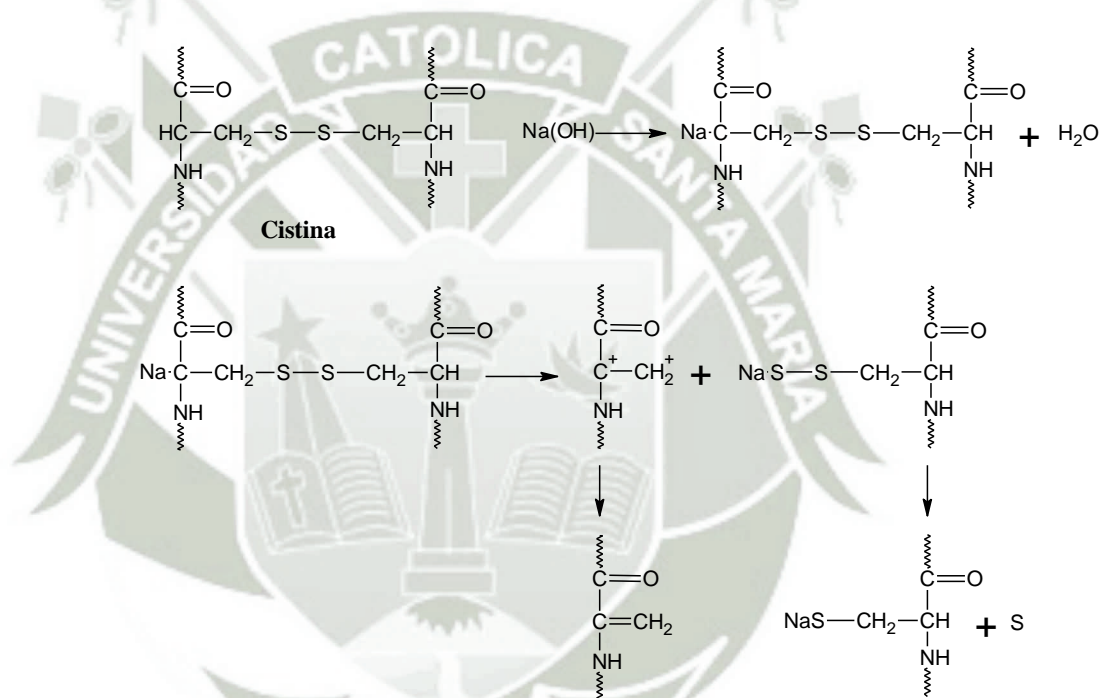
El NaHS propicia al equilibrio siguiente, pero como el H<sub>2</sub>S es gas y sale del sistema, el equilibrio se desplaza hacia la derecha, produciendo un mayor gasto del NaHS.



Además, el medio básico favorece la siguiente neutralización.



Por otro lado, la presencia de la base hidróxido da otras reacciones, que corresponden al mecanismo de Swan, en el rompimiento de los grupos disulfuro de la queratina.



Por lo tanto, como los puentes de disulfuro forman los retículos entre las cadenas polipeptídicas, la estructura reticulada de la queratina es insoluble en agua. Con la solución acuosa de  $\text{Na}_2\text{S}$  se generan tres maneras de romper los puentes de disulfuro, ya indicados, estos son:

- Mediante reducción con  $\text{NaHS}$ ;
- Por acción del agua, ósea por hidrólisis;
- reacción ácido-base con el  $\text{NaOH}$  generado en la hidrólisis del  $\text{Na}_2\text{S}$  (55).

#### 1.5.4.3. Aplicaciones de la queratina

**a. Cosmetología**

La queratina es parte de muchos tratamientos cosméticos capilares, protege el interior del cabello, influye en el color y en el brillo, que le afectan los factores mecánicos, químicos o ambientales. Estos modifican la estructura del cabello convirtiéndolo en frágil quebradizo y poroso, la queratina puede evitar el deterioro del cabello por la continua exposición a estos factores (54).

**b. Industria textil**

La queratina, se usa como material de refuerzo en la fabricación de polímeros industriales, tales como: los polietilenos y los polipropilenos, en la producción de pasta de papel o cartón y la fabricación de biomateriales o materiales biomédicos, entre otros.

**c. Industria alimenticia**

La queratina, que contiene las plumas, es un recurso alimenticio potencial. Luego de un proceso hidrolítico, de estos residuos, ellos se transformarán en una proteína digestible, que es útil como concentrado proteico para rumiantes, ya que optimiza el índice de crecimiento del ganado de engorde y también suple las necesidades de proteína en ganado lechero. Como se extrae de una fuente natural, no contiene toxinas e inhibidores del crecimiento, pueden ser usada en dietas balanceadas sin limitaciones nutricionales.

**d. Industria agrícola.**

La queratina, presente en las plumas es un recurso adecuado para la elaboración del Compost (proceso de degradación microbiológico aerobio de materiales orgánicos realizado en condiciones controladas, en el que debido a la actividad microbiana se obtiene un abono orgánico) que en conjunto con una mezcla de materiales fecales, orina, tierra y restos vegetales permiten el proceso de compostaje, permitiendo que la queratina

lentamente se degrade y se convierta en una sustancias de fácil biodegradación, contribuyendo al desarrollo de los microorganismos que enriquecerán el suelo con nitrógeno y fósforo (56).

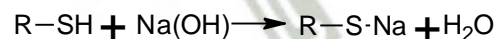
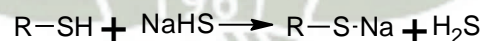
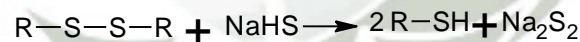
#### 1.5.4.4.Reductores de la queratina y oxidantes de disulfuros y tioles (57)

##### a. Sulfuro de sodio

Sustancia cristalina incolora con buena solubilidad en el agua y mala solubilidad en la mayoría de los disolventes orgánicos, con excepción de la glicerina. Agente queratolítico efectivo para el reblandecimiento de proteínas, tales como la queratina presente en las plumas.

Cuando se disuelve en agua da soluciones fuertemente alcalinas (NaOH). Si está expuesto al aire húmedo, el Na<sub>2</sub>S (ó sus hidratos) emiten sulfuro de hidrógeno (gas tóxico), con olor a huevos putrefactos; en contacto con el aire o la luz se oscurece. Como el azufre, es menos electronegativo que el oxígeno y sus electrones externos están más esparcidos: los átomos de azufre forman enlaces de hidrógeno más débiles que con el oxígeno.

El Na<sub>2</sub>S reduce a los di sulfuros mediante las reacciones:



#### 1.6.Residuos de cáscara de mango

El mango (*Mangífera indica* L.) es considerado uno de los frutos tropicales más importantes a nivel mundial con una producción superior a 31 millones de toneladas (58). Del peso total del fruto el 28-38% corresponde a desechos como son la cáscara y hueso (59). El Perú es un gran productor de mangos por lo que su demanda en el mercado interno del país es abastecida sin problema. En el 2007, según el informe de

cultivo de mango del área de desarrollo del Banco Agropecuario (60), los valles de Piura (77,42% de la producción nacional total le pertenecen a Piura) y Lambayeque poseen la mayor producción de mango en el Perú. La problemática radica en que los residuos generados de esta fruta, en los diferentes sitios de comercialización o procesamiento no son aprovechados, lo que causa un impacto ambiental al descomponerse generando malos olores, plagas, gases de efecto invernadero, contaminación de suelos, contaminación de agua y atraen vectores como insectos y roedores los cuales pueden causar enfermedades en la población. Las cáscaras de mango están compuestas por lignina, celulosa y hemicelulosa así como compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides, vitaminas y fibra dietaria (61). Además, la cáscara de mango posee propiedades antioxidantes (62) que le confieren resistencia a la degradación, así como su composición rica en celulosa le confiere propiedades de sostén, ya que la celulosa es un polisacárido estructural de las plantas.

### **1.7. Material biodegradable**

Es todo producto que se degrada y se destruye por la acción de hongos y bacterias, bajo condiciones ambientales determinadas. La definición debe aportar otro parámetro esencial: el tiempo y las condiciones en las que se verifica la degradación. Por poner un ejemplo, el papel o la madera, como material heterogéneo, tarda años en biodegradarse, sin embargo, comúnmente se dice que tanto la madera como el papel son biodegradables.

Como norma general, se puede considerar que un material es biodegradable cuando en medio húmedo se degrada entre 28 y 60 días ó en medio seco o en compostaje natural, en 90 días.

### **1.8. Plásticos biodegradables (63)**

Es un plástico certificado como biodegradable y/o de origen renovable. De esta forma, se pueden utilizar como materia prima: los recursos agrícolas, forestales y animales. Actualmente, los grupos de polímeros considerados como BPL son los PLA (Acido poli-lácticos); el PHA (poli-hidroxialcanoato), almidón (y almidones complejos) y otros poliésteres sintéticos, eventualmente de origen petrolífero. Los Plásticos Biodegradables (EDP) pueden ser fabricados a partir de recursos renovables, tanto de de origen animal como vegetal, o recursos fósiles. Es la

estructura química lo que hace a un polímero biodegradable, lo diferencia de un polímero convencional, y permite que pueda ser destruido por microorganismos, como hongos y bacterias en ambientes biológicamente activos (64).

Los plásticos biodegradables (EDPs, Environmentally Degradable Polymers and Plastics) vienen definidos en la ISO (International Standard Organization) los define como “aquellos plásticos que se degradan por la acción de microorganismos (bacterias, hongos y algas)”. A continuación, se expone un gráfico de la clasificación de los EDP, según su origen.

Los EDP, pueden producirse a partir de:

a) Materias primas no renovables (Petróleo, fundamentalmente), que con aditivos que favorecen su biodegradabilidad, generan los polímeros del tipo:

- Policaprolactona (PCL)
- Copoliéster alifático (PBSA)
- Politereftalato de trimetileno

b) Materias primas renovables (De origen vegetal, fundamentalmente), de los que se extraen sustancias tales como el almidón, la celulosa, gluten y caseína mediante dos sistemas:

- Síntesis de biomonómeros, para producir Acido Poliláctico (PLA)
- Acción de microorganismos en presencia de enzimas, para producir Polihidroxialcanoatos (PHA)

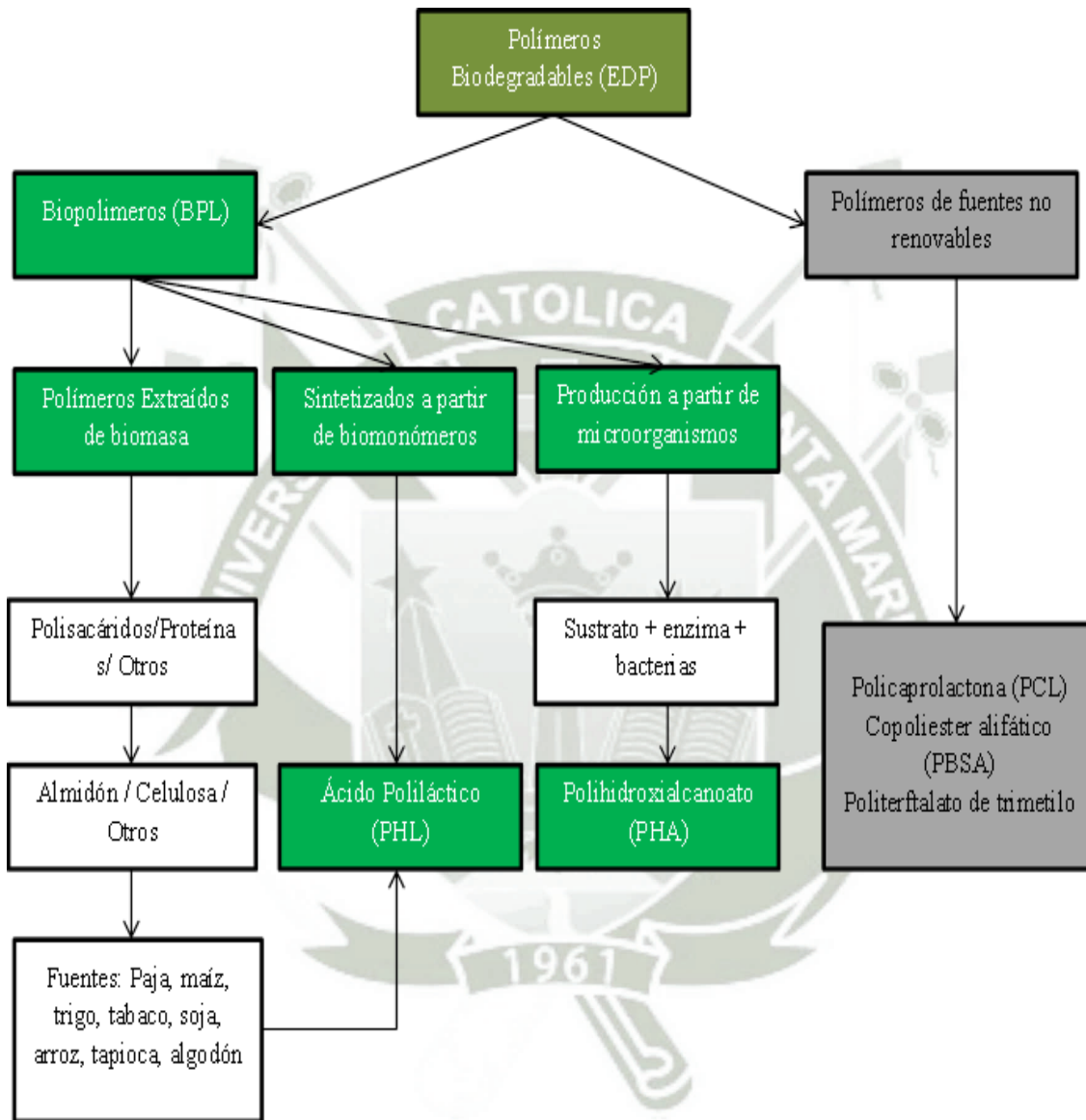
### **1.9. Biodegradación de polímeros**

Es un proceso a través del cual se obtiene la desintegración del polímero en pequeños fragmentos debido a la ruptura de enlaces en su cadena macromolecular, tal que puedan ser asimilados como biomasa por microorganismos (bacterias, hongos, levaduras, gusanos o insectos) presentes en el medio ambiente.

Los EDP tienen las siguientes características.

- Son polímeros cuya estructura química permite procesos biodegradativos, usualmente obtenidos a partir de derivados naturales renovables en vez de los usuales derivados petroquímicos, químicos o gas natural.
- De acuerdo a la norma europea EN13432, los polímeros que poseen biodegradabilidad bajo condiciones específicas son bioplásticos.

- Un Biopolímero es un polímero presente en organismos vivos o sintetizados por éstos, o un polímero sintetizado a partir de recursos naturales renovables.



**FIGURA 15** Clasificación de Biopolímeros<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Fuente: Proyecto de Análisis de Bioplásticos, 2009

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1.Lugar de ejecución

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María, la cual se realizó en diferentes etapas, siendo la primera la recolección de la materia prima de los diferentes residuos que se utilizaron para la elaboración del bioplástico, seguido de la segunda etapa que consistió en la extracción del almidón y queratina. Durante la segunda etapa se evaluaron los respectivos rendimientos de obtención de almidón y queratina, así como las proporciones óptimas de cada uno de los componentes. La tercera etapa consistió en la conformación del bioplástico y su caracterización de sus propiedades mecánicas y finalmente la etapa de construcción de un envase a escala pequeña.

#### 2.2.Materiales

##### Materia prima

- Residuos de Arroz quebrado
- Residuos de Plumas de pollo
- Residuos de Cascaras de mango

##### Material de Vidrio

- Pipetas
- Vaso precipitado
- Matrices
- Termómetro
- Probeta
- Embudo de vidrio
- Fiola
- Varilla de agitación
- Mortero y mazo

- Tubos falcon,
- Placas petri.

**Equipos:**

- Estufa -Marca: Fisher-Modelo: 516 G
- Triturador - Marca: Molinex-Modelo: D56
- Refrigeradora -Marca: LG -Modelo:GT32BPW
- Cocina eléctrica- Marca: GE – Modelo: s/m
- Agitador magnético -Marca: Biosan- Modelo: MSH3001
- Mechero bunsen- Marca : Stiran- Modelo: s/m
- Balanza Analítica - Marca: Kern - Modelo: Scout Pro Chavp SP202
- Centrífuga - Marca: Hettich-Modelo: EBA 20
- Bomba de vacío de alto rendimiento - Marca: Millipore – Modelo: s/m

**Reactivos:**

- Sulfuro de sodio 0.5M (QP)
- Hidróxido de sodio (QP)
- Ácido Acético 5% (QP)
- Glicerina ( PA)
- Sulfato de amonio (PA)
- Agua destilada (QP)

**Otros:**

- Bandas de pH
- Propipetas
- Tamizadores (<1.45mm, >1.45<1.75mm y >1.75 <2mm)
- Tubos Falcon
- Espátula
- Marco de serigrafía

**2.3.Métodos**

**2.4.Extracción de almidón de residuos de arroz (arroz quebrado)**

**2.4.1. Recolección de materia prima**

Se recolectó los residuos de arroz quebrado de las agroindustrias y agricultores ubicados en el valle de Camaná – Arequipa

#### 2.4.2. Preparación de la muestra

Los residuos recolectados de arroz quebrado fueron sometidos a un lavado con agua corriente para eliminar las impurezas adheridas en la superficie realizando en un lavador rotatorio.

Posteriormente se escurrirá para retirar el exceso de agua que sea posible.

#### 2.4.3. Trituración

Los residuos lavados y limpios preparados anteriormente fueron triturados y licuados con la ayuda de una licuadora, para lo cual se pesó 100 gr de residuos obtenidos y se licuó con 500 ml de agua destilada



**FIGURA 16** Pesado y licuado de arroz quebrado

#### 2.4.4. Filtración

El preparado obtenido se filtró con una malla de gasa, sirviendo este como colador.

#### 2.4.5. Reposo

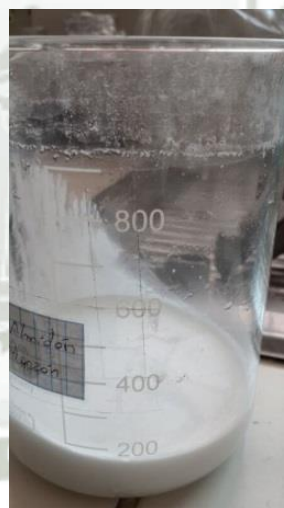
La solución obtenida se dejará reposar por un periodo de 15-30 minutos esperándose formar una capa blanca al fondo del envase que luego debe ser raspada para su remoción.



**FIGURA 17** Precipitado de almidón proveniente de arroz quebrado

#### **2.4.6. Decantación**

Trascurrido 24 horas se procedió a decantar manualmente la solución el preparado blanquecino precipitado al fondo del envase.



**FIGURA 18** Almidón extraído de arroz quebrado

#### **2.4.7. Lavado**

Obtenida la mezcla grumosa blanquecina, se procedió a reiterados lavados con agua destilada, para obtener un pH de 7,0.

#### **2.4.8. Secado**

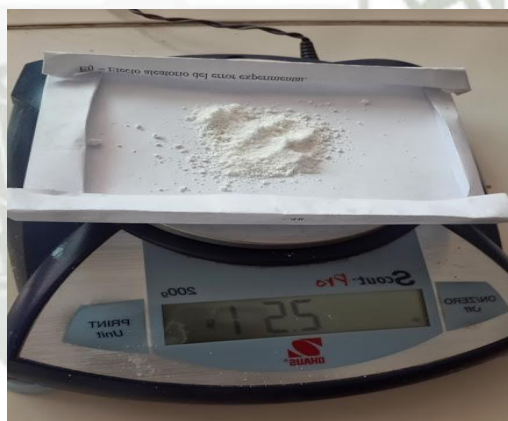
La pasta insoluble obtenida en el vaso de precipitado se distribuyó en placas Petri para luego ser secado en una estufa a 50 ° C.



**FIGURA 19** Almidón extraído de arroz quebrado

#### 2.4.9. Molienda

Se procede a moler el almidón obtenido para obtenerlo en polvo. Una vez molido se tamizada para obtener una granulometría uniforme. Se registra el peso final obtenido.



**FIGURA 20** Almidón en polvo

### 2.5. Obtención de Queratina a partir de residuos avícolas (Plumas de pollo)

#### 2.5.1. Recolección de materia prima

Se recolectaron plumas de pollo, de avícolas pertenecientes al Departamento de Arequipa-provincia de Arequipa



**FIGURA 21** Plumas de pollo

### **2.5.2. Pretratamiento de las plumas de pollo**

Se lavaron las plumas de pollo con una solución jabonosa para eliminar residuos de grasa y sangre, se deja reposando en esta solución por 5 minutos, para luego ser enjugadas con agua de grifo. Este lavado se realiza por duplicado. Terminado los lavados se procede a escurrir dichas plumas para eliminar el exceso de agua.

### **2.5.3. Acondicionamiento y trituración de las plumas**

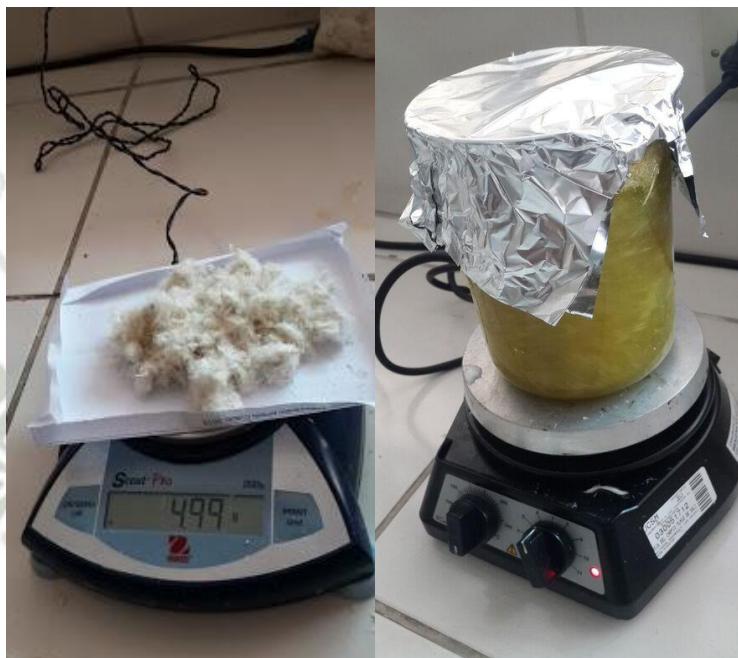
Para facilitar la trituración de las plumas en una molienda, se le adiciona nitrógeno líquido, el cual ayuda a que los raquis presentes en las plumas puedan ser molidas con mayor facilidad.



**FIGURA 22** Adición de nitrógeno líquido

#### 2.5.4. Método sulfuro de sodio

Se prepara 2 L de una solución de sulfuro de sodio 0.5 M (Anexo3), la cual fue adicionada en un vaso de precipitado de 2 L con 50 gr de plumas de pollo acondicionadas y trituradas. Luego dicha mezcla se coloca en un agitador magnético para su homogenización durante 24 horas.



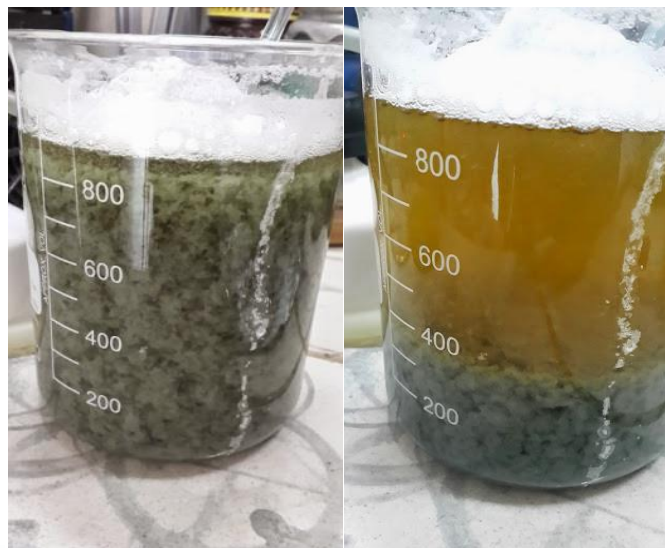
**FIGURA 23** Plumas de pollos en agitación en sulfuro de sodio

El pH debe ser alcalino en un rango de 10-13.

#### 2.5.5. Adición de sulfato de amonio

Pasadas las 24 horas se observa que las plumas se han disuelto parcialmente. Se procede a centrifugar a 10000 RPM por 5 minutos la mezcla de plumas de pollo con sulfuro de sodio. Posteriormente se recupera el líquido sobrenadante, el cual es filtrado para eliminar impurezas y se recolecta en un vaso de precipitado de 1 L.

A la solución recolectada se le adiciona gota a gota una solución de sulfato de amonio 70% (Anexo 3) hasta una proporción de 1:1 en agitación.



**FIGURA 24** Adición de sulfato de amonio en solución de plumas de pollo con sulfuro de sodio.

Posteriormente, se centrifuga por 10000 RMP x 5 min, se recupera el precipitado cuidadosamente, esta operación se repite 2 a 3 veces para maximizar la recuperación de precipitado.



**FIGURA 25** Obtención de queratina

Luego se procede a lavar el precipitado con 100 ml de agua desionizada para eliminar el exceso de reactivo, para posteriormente centrifugar a 10 000 RPM

por 5 minutos. El precipitado se recolecta en una placa Petri la cual previamente fue tarada y se registra el peso. Posteriormente al precipitado se le adiciona hidróxido de sodio 2M para solubilizar el precipitado. Finalmente, se centrifugó a 10 000 RPM por 5 minutos. Se recupera el sobrenadante y se elimina los sólidos precipitados. El sobrenadante se almacena en botellas de plástico y se conserva a 3 °C hasta su utilización.

#### **2.5.6. Prueba de Biuret**

Para determinar la presencia de la queratina se utilizó la prueba de Biuret, se toma un tubo de ensayo y se colocan 3 ml de la queratina soluble, posteriormente se añade de 4 a 5 gotas de solución de sulfato cúprico diluida al 1%.

El resultado es que la mezcla se torna de color violeta, indicando la presencia de la proteína.

### **2.6. Recuperación de cáscaras de mango**

#### **2.6.1. Recolección de materia prima**

Se recolectaron cáscaras de mango de los diferentes puestos del mercado San Camilo de Arequipa.

#### **2.6.2. Tratamiento de las cáscaras de mango**

Las cáscaras recolectadas fueron lavadas con agua de grifo para eliminar las impurezas presentes en las cáscaras, posteriormente se eliminó la pequeña fracción de pulpa presente en las cáscaras de mango, finalmente se vuelve a lavar con agua destilada y se conservan a una temperatura de 3°C hasta su utilización.

### **2.7. Elaboración del bioplástico**

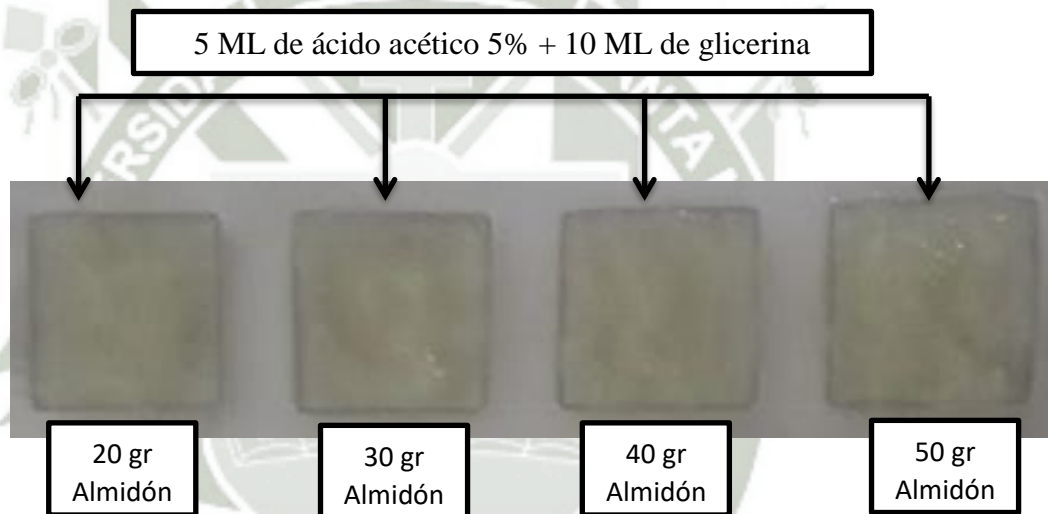
#### **2.7.1. Bioplástico de almidón.**

Para la fabricación del bioplástico de almidón, se procedió a pesar 20, 30, 40 y 50 gr de almidón, formulaciones del 1 al 4 respectivamente, las cuales fueron colocados en vasos de precipitado de 500 ml, además se les añadió 5 ml de ácido acético 5% y 10 ml de glicerina. Luego, se procede a calentar hasta formar una pasta, la cual es vertida sobre placas Petri. Se deja secar en una estufa a 40°C.



**FIGURA 26** Bioplástico de almidón

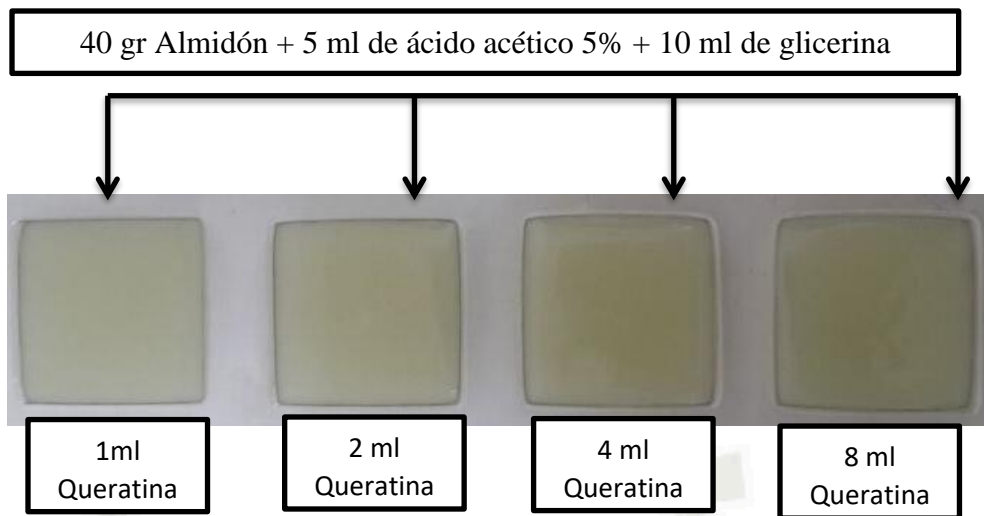
En la figura 27 se muestra la composición de las diferentes formulaciones para la obtención del bioplástico de almidón.



**FIGURA 27** Diferentes formulaciones 1→4 de almidón

### 2.7.2. Bioplástico de almidón con queratina soluble

Para la fabricación del bioplástico de almidón con queratina, se procedió a pesar 40 gr de almidón, el cual fue colocado en un vaso de precipitado de 500 ml, además de 5 ml de ácido acético 5% y 10 ml de glicerina. Luego, se procede a calentar hasta formar una pasta, inmediatamente adicionar 1,2 ,4 y 8 ml de queratina soluble a cada formulación de almidón, las pastas resultantes son vertidas sobre moldes de plástico. Se deja secar en una estufa a 40°C.



**FIGURA 28** Bioplástico de almidón con queratina soluble

### 2.7.3. Bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscara de mango

Para la fabricación del bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscara de mango, se realizó 3 proporciones de cáscara de mango siendo estas 5, 10 y 20 gr. Se procedió a pesar 40 gr de almidón, el cual fue colocado en un vaso de precipitado de 500 ml, además de 5 ml de ácido acético 5% y 10 ml de glicerina. Luego, se procede a calentar hasta formar una pasta. La pasta resultante se coloca en una licuadora junto con la proporción correspondiente de cáscaras de mango (5, 10 y 20 gr) previamente licuadas con 150 ml de agua destilada, dicha mezcla se licua para su homogenización por 5 minutos, durante el licuado se adiciona 4 ml de queratina soluble, la mezcla obtenida se vierte sobre una malla de serigrafía. Se deja secar con radiación solar por 24 horas.



**FIGURA 29** Bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscaras de mango

#### 2.7.4. Caracterización del bioplástico

El bioplástico fue caracterizado mediante pruebas mecánicas, las pruebas que se realizaron fueron las siguientes: tracción, flexión y dureza. Todas las pruebas mecánicas fueron realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica en el laboratorio de materiales de la UCSM.

##### 2.7.4.1. Tracción

Para la realización de la prueba de tracción, primero se debe generar probetas normalizadas bajo la norma ASTM-D 638. Consiste en hacer pasar el bioplástico en un molde mediante la aplicación de presión con una prensa. Una vez obtenidas las probetas se procede a determinar la longitud, ancho y espesor de dichas probetas las mediciones se realizaron por triplicado. Se calcula el área de la probeta mediante la siguiente fórmula con los promedios de los datos anteriormente determinados:

$$\text{Area} = \text{Ancho} \times \text{espesor} \quad (2)$$

El área determinada es un dato requerido para calcular la tensión que somete al material. Dicho ensayo se realizar por triplicado. Los valores que se obtienen de esta prueba son la fuerza que se sometió al material, la deformación que sufre el material, así como la tensión que resistió el material.

Una vez obtenidos los datos se procede a determinar las gráficas de tensión-deformación.

##### 2.7.4.2. Flexión

Para el ensayo de flexión se recortan láminas del bioplástico de una longitud de aproximadamente 100 x 10 mm y se mide el espesor de cada lámina, estas mediciones se realizan por triplicado. Las láminas se apilan hasta tener un espesor total aproximado de 7 mm. Una vez obtenidas las láminas apiladas se aseguran los extremos con cinta de embalaje con el fin de no dejar espacios vacíos entre las láminas. Al igual que en el ensayo de tracción se calcula el área para determinar la tensión aplicada en el material. Una vez obtenidos los datos se procede

a realizar las gráficas de tensión-tiempo, donde se observa el comportamiento del bioplástico.

#### **2.7.4.3.Dureza**

Para determinar la dureza del bioplástico se procedió a recortar láminas de 50 mm x 10 mm, se aseguran los extremos con cinta de embalaje para no dejar espacio entre las láminas. El equipo usado es llama Durómetro de Shore el cual consiste en ejercer una presión en un punto determinado de material por 10 segundos, terminado el tiempo se registra el valor marcado en el equipo. Para esta prueba se hicieron 5 lecturas en 3 muestras en diferentes puntos del centro del material, para asegurar la repetibilidad del ensayo. Se saca el promedio y se procede a ver la dureza en la tabla de Shore A. Cabe mencionar que la Dureza de Shore A es adimensional.

#### **2.8.Construcción de un envase escala pequeña**

Una vez caracterizado el bioplástico, se procede a construir un envase a escala pequeña. El envase posee 15 cm de largo con 8 cm de ancho y 5 de altura. Se procede a marcar dichas medidas en el bioplástico, para luego proseguir a cortarlo y darle la forma deseada.

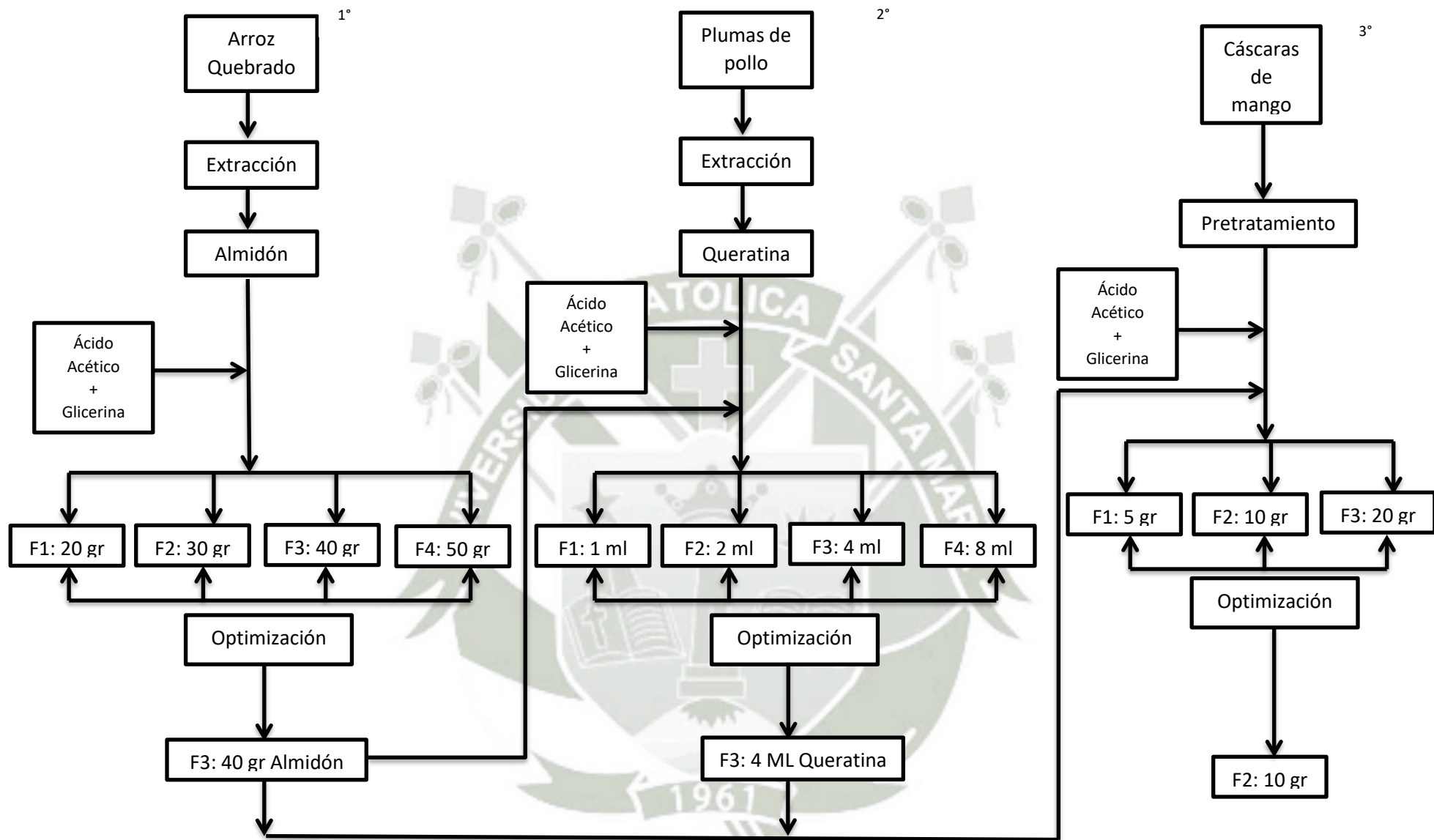


FIGURA 30 Diagrama de procesos de obtención de bioplástico base de Almidón-Queratina-Cáscaras de mango

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1.Extracción de almidón de residuos de arroz (arroz quebrado)

El almidón fue extraído de arroz quebrado según la metodología mencionada en el capítulo III de materiales y métodos. En la tabla 2 se muestra el rendimiento obtenido en la extracción, se hicieron 3 repeticiones:

**TABLA 2** Rendimiento de extracción de almidón de arroz quebrado

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	Rendimiento (%)
1	100.16	32.16	32.11%
2	100.05	38.12	38.10%
3	100.12	35.54	35.50%
Promedio	100.11	35.27	35.24%

Como se observa en la figura 31, el almidón molido obtenido fue tamizado a un tamaño de partícula menor a 1.45mm para tener un tamaño uniforme, la muestra que no cumplía con dicho tamaño se volvía a moler para reducir más su tamaño y volverlo a tamizar para obtener la mayor cantidad posible de almidón. Según Gómez M.A. (2013) el almidón posee dos sustancias, amilosa y amilopectina, que sólo difieren en su estructura: la forma en la que se unen las unidades de glucosa entre si para formar las cadenas. Pero esto es determinante para sus propiedades. Así, la amilosa es soluble en agua y más fácilmente hidrolizable que la amilopectina (es más fácil romper su cadena para liberar las moléculas de glucosa). El almidón puede identificarse gracias a la amilosa ya que en presencia de yodo forma un compuesto azul estable a bajas temperaturas.



**FIGURA 31** Almidón en polvo

### 3.2. Obtención de Queratina a partir de residuos avícolas (Plumas de pollo)

Las plumas de pollo se disuelven completamente en la solución de sulfuro de sodio. Según A Gupta (2011) el sulfuro de sodio reduce la pluma del pollo de manera eficiente que otros agentes reductores como cianuro de potasio y tioglicolato.

Según Quintero R (1981) por lo general las moléculas de mayor peso molecular precipitan primero, entonces al incrementar la concentración de sales en la solución incorporando gota a gota según la metodología mencionada en la sección de materiales y métodos, la proteína comienza a ceder intercambios iónicos con iones de amonio y sulfato y además sustituye los sitios de intercambio que compartía con el agua por lo que la queratina disminuye su solubilidad para luego precipitar.

Esto también se sustenta en lo mencionado por Carmona (2010) que indica que para precipitar una proteína se debe modificar el ambiente que le rodea, debido a que los grupos cargados en la superficie de una proteína pueden interactuar con las moléculas de agua como con los iones que se encuentran en solución.

En la investigación se hizo por triplicado la extracción de queratina, donde se registró el peso de la queratina insoluble, antes de solubilizarla en NaOH 2M. En la tabla 3 se muestran los siguientes resultados:

**TABLA 3** Rendimiento de extracción de queratina de plumas de pollo

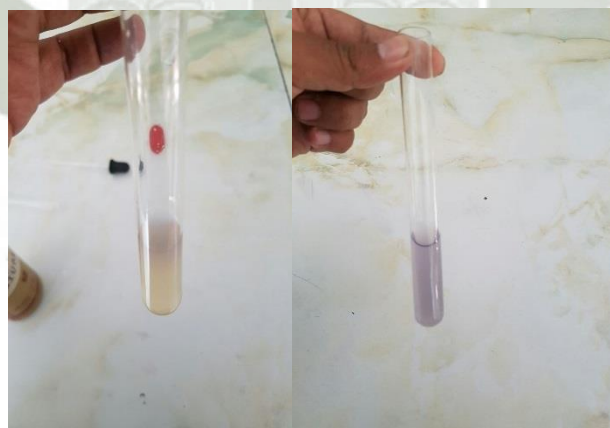
Muestra	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	Rendimiento (%)
1	50,15	4.12	8.22%
2	50,26	4.40	8.75%
3	50,07	3.96	7.91%
Promedio	50.16	4.16	8.29%

En la figura 32 se puede observar la queratina de una coloración verdosa antes de solubilizarla en hidróxido de sodio.



**FIGURA 32** Obtención de queratina

En la figura 33, la presencia de la proteína se confirmó con la prueba de Biuret. La solución se puso morado después de añadir reactivo de Biuret, lo cual solo es posible si los enlaces peptídicos están presentes en ella. Para la cuantificación de la proteína, fue determinada en el Laboratorio de ensayo y control de calidad (Anexo 4) de la Universidad Católica de Santa María (UCSM) mediante el método Kjeldahl obteniendo un resultado de 0.76%.



**FIGURA 33** Obtención de queratina

Según Fernández (2005) la prueba de Biuret se basa en la formación de un complejo coloreado entre el  $\text{Cu}^{2+}$  y los grupos NH de los enlaces peptídicos en medio básico. Los iones  $\text{Cu}^{2+}$ , en medio alcalino, se unen a las proteínas formando complejos con los átomos de nitrógeno de los enlaces peptídicos. Estos complejos  $\text{Cu}^{2+}$  -proteína

tienen un color azul claro cuando se acomplejan con NH. El reactivo de Biuret da positivo cuando los compuestos tengan dos o más enlaces peptídicos consecutivos en sus moléculas. La intensidad de coloración es directamente proporcional a la cantidad de proteínas (enlaces peptídicos) y la reacción es bastante específica, de manera que pocas sustancias interfieren.

### 3.3.Elaboración del bioplástico

#### 3.3.1. Bioplástico de almidón.

Se realizaron diferentes formulaciones de almidón para la elaboración del bioplástico, en la tabla 4 se recopila las observaciones directas que se hicieron al material.

**TABLA 4** Evaluaciones directas en las diferentes formulaciones del almidón

Formulación	Forma	Rigidez	Material	Contextura
F1(20 gr)	Irregular	Poca	Quebradizo	Grumoso
F2(30 gr)	Irregular	Poca	Quebradizo	Grumoso
F3(40 gr)	Regular	Poca	Quebradizo	Poco Grumoso
F4(50 gr)	Irregular	Poca	Quebradizo	Poco Grumoso

Se decidió trabajar con la formulación 3 (F3=40gr) debido a que en las observaciones directas realizadas no tenía una contextura grumosa como la F1 y F2. En comparación con la F4 en cuanto la forma del bioplástico obtenido tenía una forma más regular al momento de retirarlo de los moldes además de gastar menos materia prima.



**FIGURA 34** Bioplástico de almidón

### 3.3.2. Bioplástico de almidón con queratina soluble

La queratina al ser una proteína estructural de soporte, al combinarse con el almidón mejora sus propiedades. Según Krystyna et.al (2007) la alta resistencia de la queratina se debe a la presencia de dos moléculas de cisteína unidas por enlaces disulfuro. Se decidió trabajar con la formulación F3 (40 gr de almidón) debido a que presenta mejores propiedades según las evaluaciones directas que se realizaron. Según Goddard & Michaelis (1934) la gran capacidad de flexión es una cualidad de la queratina así como la de proporcionar una matriz resistente y fibrosas en los tejidos. Se procedió hacer evaluaciones directas tal cual se hicieron con el bioplástico elaborado solo con almidón, con la diferencia que se adiciono 1,2,4,8 ml de queratina soluble. En la tabla 5 se muestran las evaluaciones directas.

**TABLA 5** Evaluaciones directas en las diferentes formulaciones del almidón con queratina

<b>Formulación</b>	<b>Forma</b>	<b>Elasticidad</b>	<b>Material</b>	<b>Contextura</b>
F5(1 ml)	Irregular	Baja	Flexible	Pegajoso
F6(2 ml)	Irregular	Baja	Flexible	Pegajoso
F7(4 ml)	Regular	Alta	Flexible	Poco pegajoso
F8(8 ml)	Regular	Alta	Flexible	Poco Pegajoso

Como se muestra en la figura 35, la formulación F7 obtuvo mejores resultados, se decidió al trabajar con la F7 (4 ml) por gastar menos queratina que la F8 (8 ml) ya que al usar más de 4 ml no se aprecia mejora significativa en sus propiedades, por lo que se decidió que era la formulación óptima para poder elaborar una lámina más grande.



**FIGURA 35** Formulaciones de Almidón con queratina soluble

Se obtuvo una lámina de almidón con queratina soluble, la lámina era flexible y resistente, pero era un poco pegajosa por el lado de la lámina que estaba en contacto con el recipiente donde se secó, esto debido a que el recipiente donde se hizo el secado era un material de vidrio por lo que solo la parte superior era la parte que estaba seca, al intentar secar el material en estufa no se conseguía su secado total además de quedar un poco pegajoso.



**FIGURA 36** Lámina de Almidón con queratina soluble

En la figura 37, se hizo secado con radiación solar por 48 horas, pero no se logró secarlo completamente. Se hicieron varias repeticiones obteniendo los mismos resultados.



**FIGURA 37** Almidón con queratina soluble secado con radiación solar

### 3.3.3. Bioplástico de almidón con queratina soluble fortificado con cáscara de mango

Se observó que el bioplástico obtenido tenía características potenciales para elaborar un envase biodegradable, se decidió fortalecer la formulación con residuos de cáscaras de mango para brindarle mayor consistencia (presencia de celulosa en su estructura) se propuso adicionar a la formulación óptima de almidón y queratina diferentes proporciones de cáscaras de mango (5,10 y 20 gr). En la tabla 6 se muestran los resultados.

**TABLA 6** Evaluaciones directas en las diferentes formulaciones del almidón con queratina fortificado con cáscaras de mango

Formulación	Forma	Elasticidad	Material	Contextura
F9(5 gr)	Irregular	Baja	Poco flexible	Lisa/quebradiza
F10(10 gr)	Regular	Baja	Flexible	Lisa/Resistente
F11(20 gr)	Regular	Baja	Flexible	Lisa resistente con presencia de grumos

Se pudo superar el inconveniente del secado que se tenía anteriormente con la utilización de una malla de serigrafía, la que permitió un secado uniforme además facilitó el trabajo al momento de retirar el bioplástico de la malla, esto debido a la alta porosidad de la malla.



**FIGURA 38** Diferentes formulaciones de biopolímero de Almidón-Queratina- Cáscaras de mango (F9→F11)

Como se observa la figura 38, la formulación F10 se obtiene una lámina de bioplástico resistente y de superficie lisa, en comparación de la formulación F9 que es quebradiza y la formulación F11 que posee muchos grumos (exceso de cáscaras). Entonces se determinó que la formulación óptima es la F10, siendo la elegida para ser caracterizada con las pruebas mecánicas para evaluar el comportamiento del bioplástico y finalmente diseñar el envase degradable.



**FIGURA 39** Lámina de Almidón (F10) con queratina soluble secado fortificado con cáscaras de mango

### 3.4. Caracterización del bioplástico obtenido

Las propiedades mecánicas de los materiales indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores, como por ejemplo un estiramiento del material por una fuerza externa a él. Cabe mencionar que las formulaciones F9 y F11 no cumplían los requisitos mínimos exigidos para su caracterización mecánica por el Laboratorio de Mecánica de la UCSM, esto debido es que las muestras deben estar completamente secas, sin presencia de grumos en el material y forma regular, por tal motivo la F9 era demasiado quebradiza y no tenía una forma regular (Figura 38) y F11 tenía mucha presencia de grumos, por lo que las pruebas de tracción, flexión y dureza solo se realizaron en la F10. Se determinó dichas propiedades mecánicas del bioplástico, haciendo ensayos de tracción (tensión-deformación), flexión y dureza.

#### 3.4.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción consiste en aplicar una fuerza al material de ensayo hasta que se rompa. Se define mediante la siguiente relación.

$$\text{Resistencia tracción} = \frac{\text{Fuerza neces. para romper la muestra (N)}}{\text{área de la sección transversal (m}^2\text{)}} \quad (3)$$



**FIGURA 40** Compresora y molde para ensayos de tracción para la generación de probetas normalizadas

Antes de iniciar la tracción, la lámina del bioplástico debe colocar en una compresora para generar probetas normalizadas bajo la norma ASTM-D 638. Como se observa en la figura 41. Se generaron 3 probetas normalizadas para realizar los ensayos de tracción.



**FIGURA 41** Probetas de bioplástico para ensayo de tracción

Antes de colocar las probetas en el equipo de tracción se debe registrar la longitud, ancho y espesor de las probetas, también se determina el área transversal. Los resultados se muestran en la tabla 7:

**TABLA 7** Medidas de las probetas del bioplástico

Dimensión	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Longitud (mm)	41.06	40.62	39.21
Ancho (mm)	6.20	6.30	6.19
Espesor (mm)	1.30	1.14	1.27
Área (mm <sup>2</sup> )	8.04	7.20	7.86

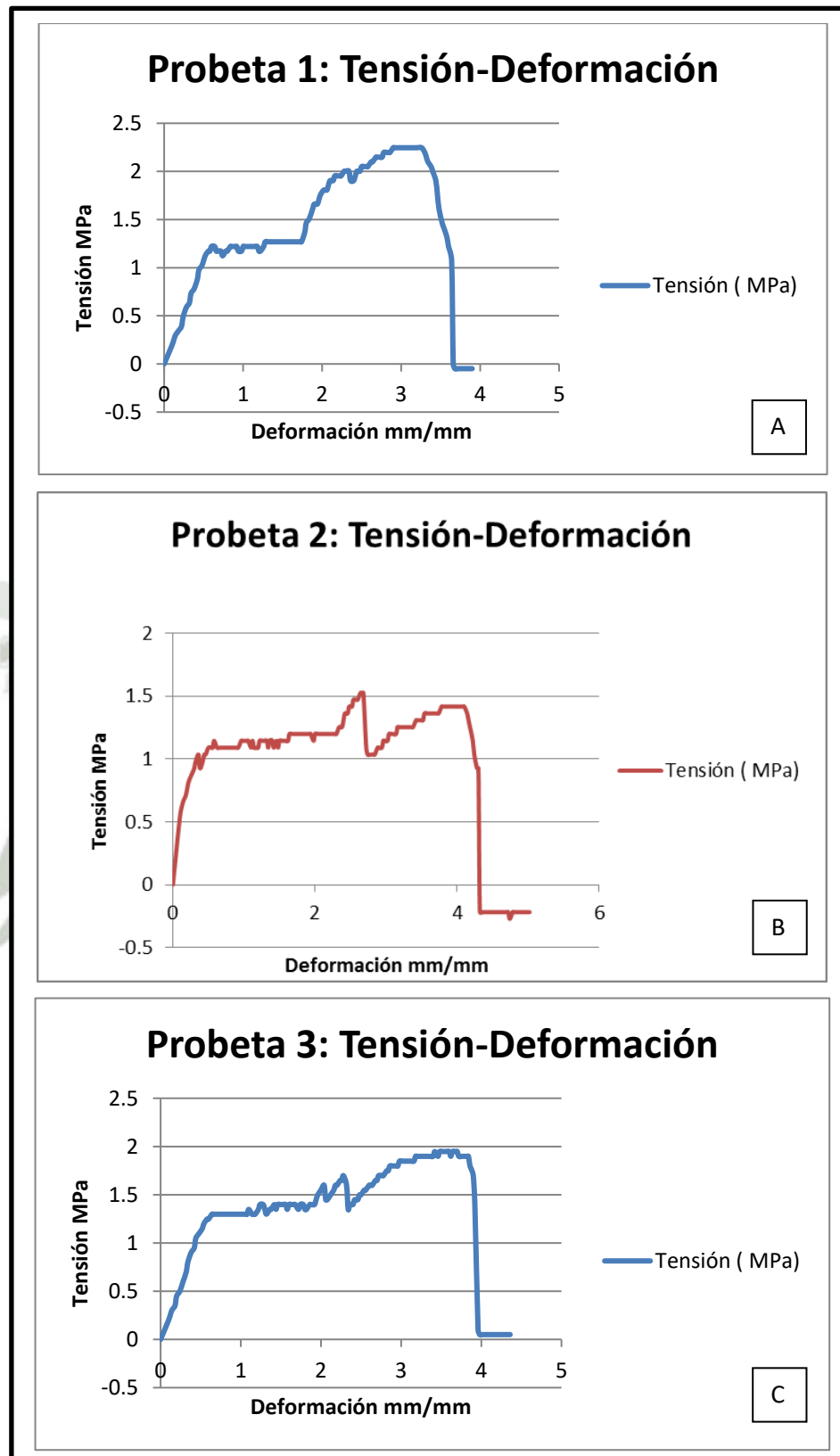
Obtenidas las mediciones de las probetas se procedió con el ensayo de tracción en el equipo que se observa en la figura 42.



**FIGURA 42** Equipo de tracción y flexión

Con los datos obtenidos (Anexo 1) se procedió a elaborar las gráficas de tensión-deformación para determinar el comportamiento del bioplástico.

Como se puede ver en la figura 43, las gráficas representan la tensión o esfuerzo en función de la deformación unitaria para el bioplástico. Durante la primera parte de la curva, el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, estamos en la región elástica. Cuando se disminuye el esfuerzo, el material vuelve a su longitud inicial. La línea recta termina en un punto denominado límite elástico.



**FIGURA 43** Gráfica de tensión-deformación de la probeta 1(A), 2 (B) y 3 (C)

Si se sigue aumentando el esfuerzo la deformación unitaria aumenta rápidamente, pero al reducir el esfuerzo, el material no recobra su longitud inicial. La longitud que corresponde a un esfuerzo nulo es ahora mayor que la inicial  $L_0$ , y se dice que el material ha adquirido una deformación permanente. El bioplástico se deforma hasta un máximo, denominado punto de ruptura. Entre el límite de la deformación elástica y el punto de ruptura tiene lugar la deformación plástica. Si entre el límite de la región elástica y el punto de ruptura tiene lugar una gran deformación plástica el material se denomina dúctil. Sin embargo, si la ruptura ocurre poco después del límite elástico el material se denomina frágil. Por lo que podríamos decir que el bioplástico se comporta como un material dúctil. En la tabla 8 se recopila la información relevante del ensayo de tracción.

**TABLA 8** Resultados de ensayo de tracción del bioplástico

	Fuerza (N)	Deformación (mm)	Tensión (MPa)	Módulo de Young (MPa)
Probeta 1	15.30	2.10	1.90	39.05
Probeta 2	18.04	2.90	2.25	33.77
Probeta 3	10.98	2.60	1.53	24.60
Promedio	14.78	2.55	1.89	32.47

De acuerdo al valor del módulo de Young, valores elevados ( $>48$  MPa) indican que el material es rígido, resistente al alargamiento y estirado. Los resultados obtenidos indican que el bioplástico obtenido tendría un carácter blando.

Como se observa en la figura 44 se desarrolla el ensayo de tracción en las diferentes muestras de bioplásticos.



**FIGURA 44** Ensayo de tracción en las probetas de bioplástico

### 3.4.2. Ensayo de flexión

La resistencia a la flexión es la propiedad que tienen los materiales plásticos de soportar un esfuerzo sobre ellos antes de doblarse. La medición se reporta en MPa. Para determinar esta propiedad se coloca unas tiras o láminas sobre dos soportes y se aplica una carga en el centro, entonces el material empezará a flexionarse hasta la ruptura. Antes de iniciar el ensayo se debe colocar varias láminas apiladas hasta obtener un espesor mayor a 5 mm.



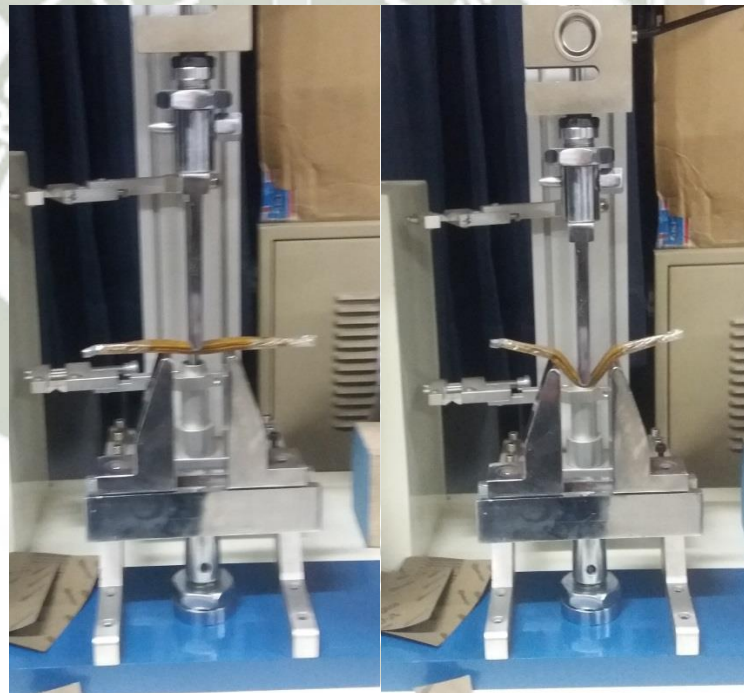
**FIGURA 45** Tiras apiladas del bioplástico para ensayo de flexión

Se hicieron tres repeticiones al igual que el ensayo de tracción. En la tabla 9 se muestran las medidas de láminas para iniciar el ensayo de flexión.

**TABLA 9** Medidas de las láminas para el ensayo de tracción

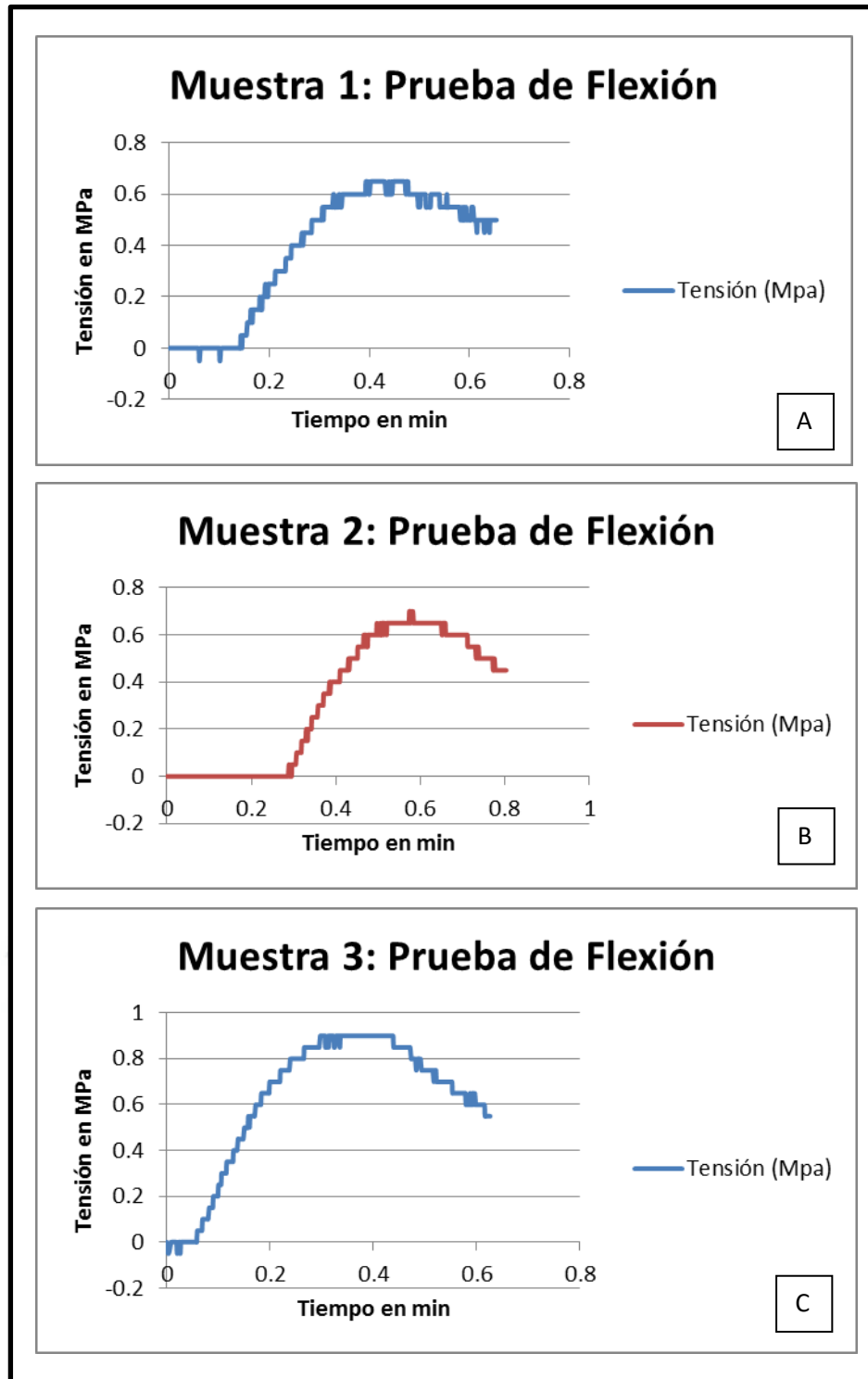
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
Lámina 1	151.15	10.64	0.78	8.27
Lámina 2	149.86	10.56	0.76	8.03
Lámina 3	150.63	10.73	0.68	7.27
Promedio	150.55	10.64	0.74	7.85

Una vez determinada el área se procede a iniciar el ensayo de flexión como se observa la figura 46. Terminada la prueba, se recopila la información (Anexo 2) para generar las gráficas de flexión.



**FIGURA 46** Ensayo de flexión

Como se puede observar en la figura 46 el bioplástico posee una buena resistencia a la flexión debido a que no sufrió ruptura, pero si una flexión casi total del material al aplicarle una fuerza. A continuación, se muestran los resultados de este ensayo en las gráficas siguientes:



**FIGURA 47** Gráfica de Ensayo de flexión en muestra 1 (A), muestra 2 (B) y muestra 3 (C)

Como se observa en la figura 47, las gráficas muestran un comportamiento característico de materiales flexibles siendo el bioplástico un material con propiedades de flexión adecuadas.

En la tabla 10 se muestra la fuerza máxima aplicada obteniendo la tensión que soportó el material en el ensayo de tensión.

La tensión promedio de 0.749 MPa, lo cual indica que el material es adecuado para la fabricación de envases plásticos debido a que el material no llegó a romperse hasta su casi completa flexión.

**TABLA 10** Resultados del ensayo de flexión

	Fuerza (N)	Tensión (MPa)
Muestra 1	5.100	0.649
Muestra 2	5.493	0.699
Muestra 3	7.062	0.899
Promedio	5.885	0.749

### 3.4.3. Ensayo de dureza-Método Shore A

La dureza es una propiedad mecánica importante debido a que permite medir la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. El método Shore A consiste en determinar el rebote que sufre un percutor al chocar contra la superficie que se ensaya, cuando se lo deja caer desde una altura determinada. El percutor utilizado es de acero duro de forma cilíndrica y punta redondeada de muy buena terminación, la que también puede ser de diamante. En la experimentación se hicieron 5 repeticiones para cada muestra. Antes de iniciar el ensayo se debe acondicionar tiras de un tamaño de 5 de largo, 1 de ancho y apilarlas hasta tener un espesor mayor a 5mm, tal como muestra la figura 48.



**FIGURA 48** Prueba de dureza de Shore A

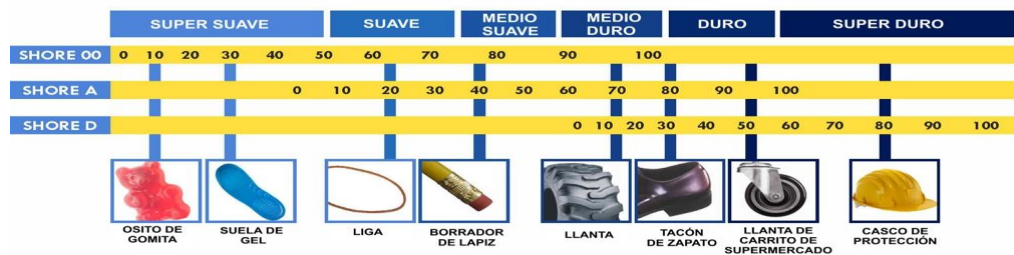
A continuación, en la tabla 11 se muestran las lecturas registradas en el durómetro shore A:

**TABLA 11** Resultado de dureza de bioplástico

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Lectura 1	68.0	86.1	69.0
Lectura 2	71.5	84.0	67.0
Lectura 3	84.0	76.0	65.5
Lectura 4	78.0	78.0	66.0
Lectura 5	75.5	75.5	76.5
Promedio	75.4	79.92	68.8

La escala de Shore A se puede apreciar en la figura 49.

**ESCALAS DUREZA SHORE**



**FIGURA 49** Diferentes escalas de dureza Shore 00, A y D<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Fuente: Extraído de <http://poliuretanoindustrial.com/cot.html>

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos afirmar que el bioplástico posee una dureza de tipo medio duro, esto debido a la escala de Shore A donde clasifica a los materiales como medio duro con valores de 60 a 80.

### 3.5.Comparación del módulo de Young del bioplástico con plásticos comerciales

En la tabla 12 se observa los diferentes valores del módulo de Young de diferentes materiales plásticos en contraste con el bioplástico elaborado en la presente investigación.

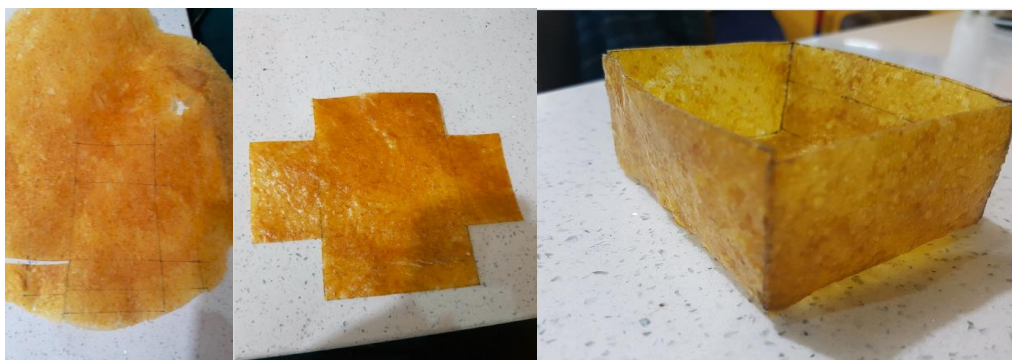
**TABLA 12 Comparación del Módulo de Young del bioplástico con plásticos comerciales<sup>16</sup>**

Material	Módulo de elasticidad (MPa)
Bioplástico (Almidón, Queratina y Cáscaras de mango)	32.47
PVC (Cloruro de polivinilo)	2410-4140
Fenólico:	2760-4830
Nailon 6,6:	1590-3790
Policarbonato (PC):	2380
Poliéster (termofijo):	2060-4410
Poliestireno (PS):	2280-3280
Poliéter-éter-cetona (PEEK):	1100
Polietileno Alta densidad (HDPE):	1080
Polietileno Baja densidad (LDPE):	250
Polietileno tereftalato (PET):	2760-4140
Polipropileno (PP):	1140-1550

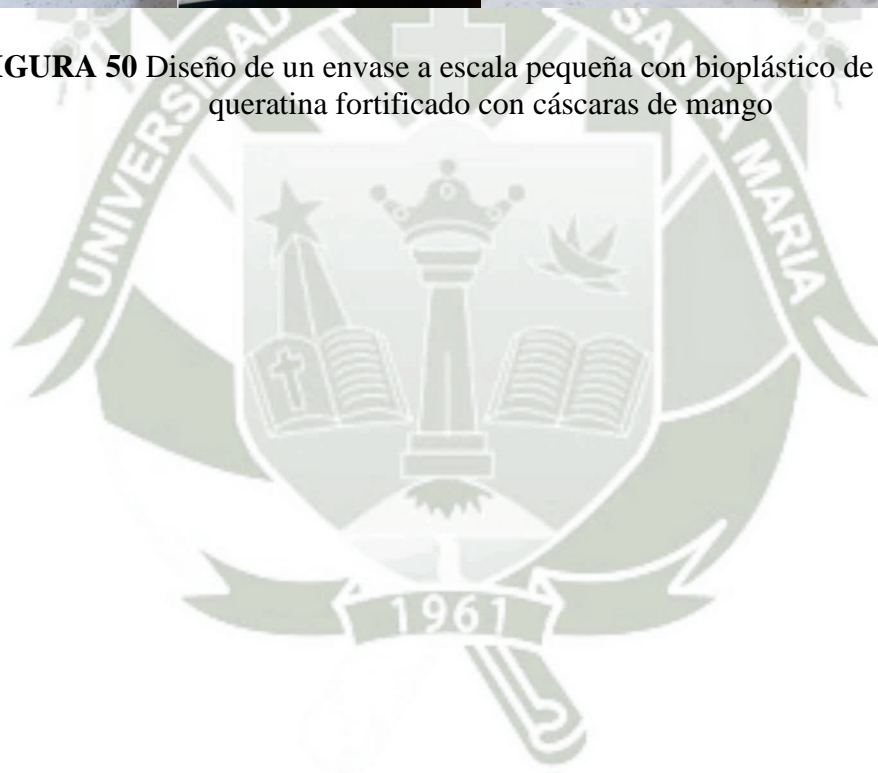
### 3.6.Construcción de un envase a escala pequeña

<sup>16</sup> Fuente: Modern Plastic Encyclopedia '96, The McGraw-Hill Companies, New York, NY;R. F. Floral and S. T Peters.

Finalmente, terminada la caracterización del bioplástico, por las características determinadas en los diferentes ensayos, se decidió construir un pequeño envase para demostrar que es posible diseñar objetos a escala pequeña con buenas propiedades. De una muestra obtenida en la malla de serigrafía se hace marcas en forma de cruz con 14 cm de largo y 6 cm de ancho.



**FIGURA 50** Diseño de un envase a escala pequeña con bioplástico de almidón y queratina fortificado con cáscaras de mango



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

1. Se logró obtener el almidón de “arroz quebrado”, (*Oryza sativa*) y queratina de plumas de pollo con la metodología planteada los cuales eran la base para la elaboración del bioplástico.
2. Se determinó los rendimientos de obtención de queratina y almidón para la elaboración del bioplástico en la presente investigación
3. Se calculó las proporciones adecuadas de almidón, almidón-queratina y almidón-queratina-cáscaras de mango.
4. Se elaboró un bioplástico con almidón y queratina fortificado con cáscaras de mango
5. Se evaluó las propiedades del bioplástico como: espesor, tracción, flexión, dureza, deformación, entre otros. Donde quedó demostrado que el bioplástico posee buenas propiedades para la elaboración de envases a escala pequeña.
6. Se consiguió construir un modelo de envase a escala pequeña con el bioplástico previamente caracterizado.

## RECOMENDACIONES

1. En la extracción de almidón de arroz después de su secado se recomienda realizar varias reducciones de tamaño con mortero y luego con tamiz, esto debido a que mientras más fino sea el almidón mejor se realizará la mezcla al momento de la elaboración del bioplástico.
2. En la extracción de queratina de las plumas de pollo, se recomienda usar mascarilla con filtro debido a la presencia de gases de  $H_2S$  en el método de sulfuro de sodio, así como una campana de extracción para evitar contaminar el laboratorio con malos olores.
3. En la elaboración del bioplástico, se recomienda licuar hasta obtener una mezcla homogénea, la presencia de grumos afecta en gran medida al bioplástico durante su secado, haciendo que este proceso demore más y que el bioplástico tenga zona gruesa y otras delgadas.
4. En la elaboración del bioplástico se recomienda obtener una malla de serigrafía, debido a que al ser esta una superficie porosa optimiza de gran manera el secado del bioplástico, así como el secado con luz solar, no se recomienda el secado en placas de plástico ni envases de vidrio debido a que no se logra su completo secado, lo cual es una condición necesaria para su caracterización mecánica.
5. Al momento de realizar la caracterización del bioplástico se recomienda escoger zonas donde no exista muchos poros o burbujas atrapadas de aire, debido a que esto afecta a los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bade ML, Wick RL. Protecting Crops and wildlife with chitising and chitosan. In Society AC.. Washington D.C.: Cutler; 1988. p. 450-468.
2. Bresliin VT, Swanson RL. Deterioration of starch-plastics composites in the environment. Air& Waste. 1933;; p. 325-335.
3. Andrady LA, Pegram JE, Nakatsuka S. Studies of enhanced degradable plastics 1. Environment Polymers. 1993; 1(31-43).
4. Huang SJ. Polymer waste management-biodegradation, incineration, and recycling. Macromol Sci Pure Appl. Chem. 1995; 32(593-597).
5. Corti A, Vallini G, Pera A, Cioni F, Solaro R, Chiellini E. Composting microbial ecosystem for testing the biodegradability of starch-filled polyethylene films. 1991;(245-248).
6. Ministerio de Agricultura y riego. Boletín Estadístico Mensual de la Producción y comercialización avícola. Sistema Integrado de la Estadística Agraria (SIEA); 2016.
7. Skinner JH. Worldwide MSW Market Reaches \$100 Billion: A report from the ISWA World Congress 2000. 2000. Swana CEO Report.
8. Guzmán H, Paredes O. Amylolytic enzymes and products derived from starch: a review. Food Sci Nutr. 1995; 35(373-403).
9. Howard RL, Abotsi E, Jansen Van Rensburg EL, Howard S. Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. African Journal of Biotechnology. 2003; 2(602-619).
10. Castillo EF, Cristancho DE, Arellano V. Estudio de la condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. Revista Colombiana de Biotecnología. 2003; 5(2).
11. Farías DM, Ballesteros MI, Bendeck M. Variación de parámetros fisicoquímicos durante un proceso de compostaje. Revista Colombiana de Química. 1999; 28(75-86).
12. Hamzawi N, Kennedy KJ, McLean DD. Review of applications og high solids anaerobic digestion to solid waste management. Journal of Solid Waste Technology and Management. 1999; 26(3,4).
13. Salas JE, Giraldo E. Aprovechamiento económico de los desechos sólidos municipales: modelos de análisis para la evaluación financiera: reciclaje y compostación aeróbica vs reciclaje y digestión anaeróbica alta en sólidos. 1996. Memos de Investigación.
14. Tchobanoglus G, Theisen H, Vigil S. Gestión integral de residuos sólidos. In Hill , editor.. Madrid: McGraw; 1994. p. 1107.
15. Cecchi F, Traverso P. State of the art of research and development in the anaerobic digestion process of municipal solid waste in Europe. Biomass. 1988; 26(4).

16. Titmas JA, inventor; Titmas JA, assignee. Apparatus for hydrolyzing cellulosic material. U.S. patent 5.879,637. 1999.
17. PIGARS-Arequipa CM. Plan Integral de Gestión ambiental de residuos sólidos. Gobierno Regional de Arequipa, Arequipa; 2004.
18. Iannutti E, Tempesta M, Neibiling H, Hsieh H, Mueller R. Environmental degradation of conventional and starch-based plastics with and without pro-oxidant addition. 1990;(1-4).
19. Murray AE, Hattis D. Approaches to a practical assessment of supply and demand for chitin products in the United States. Muzzarelli and Pariser. 1978;(30-38).
20. Plástico CE. Enciclopedia del Plástico 2000. In. Mexico; 1999. p. 41-42,55-58,79-81,88-92,96-97,99-101,121,131,135,151-153,158.
21. Plástico CE. Enciclopedia del plástico 2000. In. México; 1999. p. 323,325.
22. Harmer ED, al e. Ensayo e Inspección de los materiales en Ingeniería. In. Mexico: Mc Graw-Hill p. 46-47.
23. Van VL. Tecnología de materiales. In. México: Alfaomega; 1982. p. 11-12,184.
24. Wikipedia. Fundación Wikimedia, Inc. [Online].; 2001 [cited 2016 Diciembre 27. Available from: [https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo\\_de\\_Young](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_Young).
25. García T. Proteínas. In. México: Larousse; 2010.
26. Sánchez T, Ramírez S. Uso de cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras. , Lima; 1991.
27. Huaraz C. Diseño de un gasificador de 25kW para aplicaciones domésticas usando como combustible cascarilla de arroz. Tesis. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2013.
28. Whister RL, Bemiller JN, Paschall EF. Starch: Chemistry and Technology. 1994. Academic Press, Inc.
29. Belitz HD, Grosch W. Química de los Alimentos. 1997..
30. Bello LA. Amilopectina caracterización molecular y funcional. 1995. Tesis Doctoral.
31. Thomas DJ, Atwell W. Starch Modifications. 1999. Eagen Press Handbook USA.
32. Zobel HF. Starch crystal transformations and their industrial importance. ; 40(1-7).
33. Bello-Pérez LA, Osorio P, Agama E, Nuñez C, Paredes O. Chemical physicochemical and rheological of masas and mixtamalized corn flours. Agrociencia. 2002; 36(319-328).

34. Katz FR, Furcsik SL, Tenbarga FL, Hauber RJ, Friedman RB. Behavior of starches derived from varieties of maize containing different genetic mutations. *Carbohydrate Polymers*. 1993; 61(211-221).
35. Saartrat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydrate Polymers*. 2005; 61(211-221).
36. Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. Factors influencing the physic-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. *Food Hydrocolloids*. ; 21(1-22).
37. Wurzburg OB. *Modified starches: Properties and uses*. 1986..
38. Huang DP, Rooney LW. *Starches for snack foods*. 2001. Lancaster, Pennsylvania Technomic Publishing Company Inc.
39. Ring SG, Colonna P, Ianson KJ, Kalichevsky MT, Miles MJ, Morris VJ, et al. The gelation and crystallization of amylopectin. *Carbohydrate Research*. 1987; 162(277-329).
40. Ring SG, Stainsby G. Filler Reinforcement of gels. *Nutr.Sci.* ; 6(323-329).
41. Ott M, Hester EE. Gel formation as related to concentracion of amylose and degree of starch swelling. *Cereal Chemistry*. 1965; 42(476-484).
42. Miles MJ, Morris VJ, Oxford PD, Ring SG. The roles of amylose and amylopectine in the gelation and retrogradation of Starch. *Carbohydrate Research*. 1985; 135(271-281).
43. Navarro AS, Martino MN, Zaritzky NE. Effect of freezing rate on the rheological behavior of systems based on starch and lipid phase. *Food Engineering*. 1995; 26(481-495).
44. Ferrero C, Martino MN, Zaritzky NE. Stability of frozen starch pastes: effect of freezing, storage and xantan gum addition. *Food Processing and Preservation*. 1993; 17(191-211).
45. Biliaderis C. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Technology*. 1993; 98(109-145).
46. Milles MJ, Morris VJ, Ring SG. Gelation of amylose. *Carbohydrate Research*. 1992; 135(257-269).
47. Farhat IA, Protzmann J, Becker A, Valles-Pamies B, Neale R, Hill SE. Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. 2001; 53(431-436).
48. Acosta H, Villada H, Torres S, Ramirez J. Morfología superficial de almidones termoplásticos agrio de yuca nativo de papa por microscopía óptica y microscopía de fuerza atómica. *Inf. Technol*. 2006; 17(63-70).
49. Meré J. Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Tesis. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid; 2009.

50. Navarro A, Benitez H. Biblioteca digital ILCE. [Online]. [cited 2016 Diciembre 27. Available from:  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec\\_8.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec_8.htm).
51. Arevalo R. El uso de plumas de pollo para aumentar la tenacidad del yeso. Trabajo de Máster. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2011 Junio.
52. Chamizo J. Biblioteca digital ILCE. [Online].; 1994 [cited 2016 Diciembre 27. Available from:  
[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).
53. Salazar M. Determinación del método para la obtención de queratina cosmética a partir de plumas gallináceas. Tesis. Universidad central del Ecuador, Quito; 2013.
54. Wikins J, Moore M, Rodríguez D. Cosmetología de Harry. 1990..
55. Haslwanter JA, Dever G, Laughlin T, inventors; Composiciones estables de sulfuros, usos y un procedimiento para su preparación. España patent 2105,642. 1997 Octubre 16.
56. Carlosama C. Asociación colectiva para el desarrollo rural de tierras de campos. 2010..
57. Salazar M. Determinación del método para la obtención de queratina cosmética a partir de plumas gallináceas. Tesis. Universidad Central del Ecuador, Quito; 2013.
58. Organization FaA. FAO Statistical Database-Agriculture. [Online].; 2007 [cited 2016 Enero 10. Available from: <http://faostat.fao.org>.
59. Sumaya T, Sánchez L. Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. Quinta Época. 2012 Junio; 30.
60. Agrobanco. Cultivo del mango. ; 2007.
61. Ajila C, Aalami M, Leelavathi K, Prasada U. Mango peel powder. A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2010; 11(219-224).
62. Serna L, Torres C. Potencial agroindustrial de cáscaras de mango (mangifera indica) variedades Keitt y Tommy Atkins. Acta Agronómica. 2015; 64(2).
63. Pachecho G, Nydia C, Rodriguez R. Bioplásticos. SMBB. 2014; 18(2).
64. Luengo JM, García B, Sandoval A, Naharro G, Olivera ER. Bioplastics from microorganisms. Microbol. 2003; 6(251-260).
65. Swanson CL, Fanta GF, Imam SH. Preparation, physical properties and biodegradability. Environ. Polym. Degrad. 1993; 1(155-156).
66. Pennisi E. Chitin craze. Science News. 1993; 144(72-74).

67. Rubin II. Materiales Plásticos, Propiedades y aplicaciones. In. Mexico: LIMUSA; 1998. p. 12,31-32,41,43-45,71.
68. México IPNd. Ecoportal. [Online].; 2008 [cited 2016 Diciembre 27. Available from: <http://www.ecoportal.net/content/view/full/79732>.
69. Katsuke T, Duldulao JB, Kimura Y, Lida S, Yamaguchi T, Nakano J, et al. The two subfamilies of rice glutelin differ in both primary and higher-order structures. In Biochimica et Biophysica; 2004. p. 95-102.
70. Juliano BO. Polysaccharides, protins, and lipids of rice. In.: St. Paul; 1994. p. 98-141.
71. Méndez de la Cruz AE. Evaluación de la extracción de almidón del banano verde producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos. Proyecto. Fondo Nacional de ciencia y tecnología (FONACYT); 2003.
72. Arun G, Ramanan P, Rosli BM, Nuruldiyana BK. Extraction of keratin protein from chicken feather. 2012. ResearchGate.
73. Quintero R. Ingeniería bioquímica Teoría y aplicaciones. 1981..
74. Carmona L. Diplomado en Bioquímica y biología molecular para la industria Farmacéutica y Biotecnología. [Online].; 2010 [cited 2016 Diciembre 28. Available from: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/DiplomadoLunes1Oct\\_21564.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/DiplomadoLunes1Oct_21564.pdf).
75. Fernández E, Galván A. Métodos para la cuantificación de proteínas. 2005..
76. Krystina O, Hayat B, Jill F, Keren C, Maya B, Claudette J, et al. ROS production and protein oxidation as a novel mechanism for seed dormancy alleviation. The Plant Journal. 2007; 50(452-465).
77. Goddard D, Michaelis L. A study of keratin. 1934. Journal of Biological chemistry.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 1

No.	Time( min)	Elongation( mm)	Force( N)	Tensión ( MPa)
1	0	0.00	0	0
2	0.005	0.10	1.57	0.195
3	0.007	0.14	2.354	0.293
4	0.009	0.18	2.746	0.342
5	0.011	0.22	3.139	0.391
6	0.012	0.24	3.923	0.488
7	0.014	0.28	4.708	0.586
8	0.016	0.32	5.1	0.635
9	0.017	0.34	5.884	0.732
10	0.019	0.38	6.276	0.781
11	0.021	0.42	7.061	0.879
12	0.022	0.44	7.845	0.976
13	0.024	0.48	8.238	1.025
14	0.026	0.52	9.023	1.123
15	0.028	0.56	9.415	1.172
16	0.029	0.58	9.414	1.172
17	0.03	0.60	9.807	1.221
18	0.032	0.64	9.807	1.22
19	0.033	0.66	9.415	1.172
20	0.034	0.68	9.414	1.172
21	0.036	0.72	9.414	1.172
22	0.037	0.74	9.022	1.123
23	0.039	0.78	9.414	1.172
24	0.04	0.80	9.414	1.172
25	0.042	0.84	9.807	1.221
26	0.043	0.86	9.807	1.22
27	0.045	0.90	9.807	1.22
28	0.046	0.92	9.807	1.22
29	0.047	0.94	9.415	1.172
30	0.049	0.98	9.414	1.172
31	0.05	1.00	9.807	1.221
32	0.051	1.02	9.807	1.22
33	0.053	1.06	9.807	1.22

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 1**

34	0.054	1.08	9.807	1.22
35	0.056	1.12	9.807	1.22
36	0.057	1.14	9.807	1.22
37	0.059	1.18	9.807	1.22
38	0.06	1.20	9.415	1.172
39	0.061	1.22	9.414	1.172
40	0.063	1.26	9.807	1.221
41	0.064	1.28	10.2	1.269
42	0.066	1.32	10.199	1.269
43	0.067	1.34	10.199	1.269
44	0.068	1.36	10.199	1.269
45	0.07	1.40	10.199	1.269
46	0.071	1.42	10.199	1.269
47	0.073	1.46	10.199	1.269
48	0.074	1.48	10.199	1.269
49	0.075	1.50	10.199	1.269
50	0.077	1.54	10.199	1.269
51	0.078	1.56	10.199	1.269
52	0.079	1.58	10.199	1.269
53	0.081	1.62	10.199	1.269
54	0.082	1.64	10.199	1.269
55	0.084	1.68	10.199	1.269
56	0.085	1.70	10.199	1.269
57	0.086	1.72	10.199	1.269
58	0.087	1.74	10.199	1.269
59	0.089	1.78	10.984	1.367
60	0.09	1.80	11.768	1.465
61	0.092	1.84	12.161	1.513
62	0.094	1.88	12.945	1.611
63	0.095	1.90	13.338	1.66
64	0.097	1.94	13.337	1.66
65	0.098	1.96	13.73	1.709
66	0.099	1.98	14.122	1.758
67	0.101	2.02	14.514	1.806
68	0.103	2.06	14.514	1.806
69	0.104	2.08	14.907	1.855
70	0.105	2.10	15.299	1.904
71	0.107	2.14	15.298	1.904
72	0.108	2.16	15.691	1.953

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 1**

73	0.11	2.20	15.691	1.953
74	0.111	2.22	15.691	1.953
75	0.112	2.24	15.691	1.953
76	0.114	2.28	16.083	2.002
77	0.115	2.30	16.083	2.002
78	0.117	2.34	16.083	2.002
79	0.118	2.36	15.299	1.904
80	0.12	2.40	15.298	1.904
81	0.121	2.42	15.691	1.953
82	0.122	2.44	16.083	2.002
83	0.124	2.48	16.083	2.002
84	0.125	2.50	16.475	2.05
85	0.127	2.54	16.475	2.05
86	0.128	2.56	16.475	2.05
87	0.129	2.58	16.475	2.05
88	0.131	2.62	16.868	2.099
89	0.132	2.64	16.867	2.099
90	0.134	2.68	17.26	2.148
91	0.135	2.70	17.26	2.148
92	0.136	2.72	17.26	2.148
93	0.138	2.76	17.26	2.148
94	0.139	2.78	17.653	2.197
95	0.141	2.82	17.652	2.197
96	0.142	2.84	17.652	2.197
97	0.143	2.86	17.652	2.197
98	0.145	2.90	18.044	2.246
99	0.146	2.92	18.044	2.246
100	0.147	2.94	18.044	2.246
101	0.149	2.98	18.044	2.246
102	0.15	3.00	18.044	2.246
103	0.152	3.04	18.044	2.246
104	0.153	3.06	18.044	2.246
105	0.154	3.08	18.044	2.246
106	0.156	3.12	18.044	2.246
107	0.157	3.14	18.044	2.246
108	0.159	3.18	18.044	2.246
109	0.16	3.20	18.044	2.246
110	0.163	3.26	18.044	2.246
111	0.165	3.30	17.653	2.197

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 1**

112	0.166	3.32	17.26	2.148
113	0.167	3.34	16.868	2.099
114	0.169	3.38	16.475	2.05
115	0.17	3.40	16.084	2.002
116	0.172	3.44	15.298	1.904
117	0.173	3.46	14.122	1.758
118	0.174	3.48	12.945	1.611
119	0.176	3.52	11.768	1.465
120	0.177	3.54	11.376	1.416
121	0.179	3.58	10.592	1.318
122	0.18	3.60	9.807	1.221
123	0.182	3.64	8.631	1.074
124	0.183	3.66	0.001	0
125	0.184	3.68	-0.392	-0.049
126	0.186	3.72	-0.392	-0.049
127	0.187	3.74	-0.392	-0.049
128	0.189	3.78	-0.392	-0.049
129	0.19	3.80	-0.392	-0.049
130	0.191	3.82	-0.392	-0.049
131	0.193	3.86	-0.392	-0.049
132	0.195	3.90	-0.392	-0.049



**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 2**

No.	Time( min)	Elongation( mm)	Force( N)	Tensión ( MPa)
1	0	0	0	0
2	0.005	0.1	3.923	0.545
3	0.007	0.14	4.708	0.654
4	0.009	0.18	5.1	0.708
5	0.01	0.2	5.492	0.763
6	0.011	0.22	5.884	0.817
7	0.013	0.26	6.277	0.872
8	0.015	0.3	6.669	0.926
9	0.016	0.32	7.061	0.981
10	0.018	0.36	7.454	1.035
11	0.019	0.38	6.669	0.926
12	0.021	0.42	7.061	0.981
13	0.022	0.44	7.454	1.035
14	0.023	0.46	7.453	1.035
15	0.025	0.5	7.846	1.09
16	0.027	0.54	7.845	1.089
17	0.028	0.56	7.845	1.089
18	0.029	0.58	8.238	1.144
19	0.031	0.62	7.846	1.09
20	0.033	0.66	7.845	1.089
21	0.034	0.68	7.845	1.089
22	0.035	0.7	7.845	1.089
23	0.036	0.72	7.845	1.089
24	0.038	0.76	7.845	1.089
25	0.039	0.78	7.845	1.089
26	0.04	0.8	7.845	1.089
27	0.042	0.84	7.845	1.089
28	0.043	0.86	7.845	1.089
29	0.045	0.9	7.845	1.089
30	0.046	0.92	7.845	1.089
31	0.048	0.96	8.238	1.144
32	0.049	0.98	8.238	1.144
33	0.05	1	8.238	1.144
34	0.052	1.04	8.238	1.144
35	0.053	1.06	8.238	1.144
36	0.055	1.1	7.846	1.09
37	0.056	1.12	8.238	1.144
38	0.057	1.14	7.846	1.09

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 2**

39	0.059	1.18	7.845	1.089
40	0.06	1.2	7.845	1.089
41	0.061	1.22	8.238	1.144
42	0.063	1.26	8.238	1.144
43	0.064	1.28	8.238	1.144
44	0.066	1.32	8.238	1.144
45	0.067	1.34	7.846	1.09
46	0.068	1.36	8.238	1.144
47	0.07	1.4	8.238	1.144
48	0.071	1.42	7.846	1.09
49	0.073	1.46	8.238	1.144
50	0.074	1.48	7.846	1.09
51	0.075	1.5	8.238	1.144
52	0.077	1.54	8.238	1.144
53	0.078	1.56	8.238	1.144
54	0.079	1.58	8.238	1.144
55	0.081	1.62	8.238	1.144
56	0.082	1.64	8.63	1.198
57	0.084	1.68	8.63	1.198
58	0.085	1.7	8.63	1.198
59	0.086	1.72	8.63	1.198
60	0.088	1.76	8.63	1.198
61	0.089	1.78	8.63	1.198
62	0.09	1.8	8.63	1.198
63	0.092	1.84	8.63	1.198
64	0.093	1.86	8.63	1.198
65	0.095	1.9	8.63	1.198
66	0.096	1.92	8.63	1.198
67	0.097	1.94	8.63	1.198
68	0.099	1.98	8.238	1.144
69	0.1	2	8.631	1.199
70	0.102	2.04	8.63	1.198
71	0.103	2.06	8.63	1.198
72	0.104	2.08	8.63	1.198
73	0.106	2.12	8.63	1.198
74	0.107	2.14	8.63	1.198
75	0.109	2.18	8.63	1.198
76	0.11	2.2	8.63	1.198
77	0.111	2.22	8.63	1.198

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 2**

78	0.113	2.26	8.63	1.198
79	0.114	2.28	8.63	1.198
80	0.115	2.3	8.63	1.198
81	0.117	2.34	9.023	1.253
82	0.119	2.38	9.022	1.253
83	0.12	2.4	9.415	1.307
84	0.121	2.42	9.807	1.362
85	0.123	2.46	9.807	1.362
86	0.124	2.48	10.2	1.416
87	0.126	2.52	10.199	1.416
88	0.127	2.54	10.592	1.471
89	0.129	2.58	10.591	1.471
90	0.13	2.6	10.591	1.471
91	0.132	2.64	10.984	1.525
92	0.133	2.66	10.983	1.525
93	0.134	2.68	10.983	1.525
94	0.136	2.72	7.846	1.09
95	0.137	2.74	7.454	1.035
96	0.139	2.78	7.453	1.035
97	0.14	2.8	7.453	1.035
98	0.141	2.82	7.453	1.035
99	0.142	2.84	7.453	1.035
100	0.144	2.88	7.846	1.09
101	0.145	2.9	7.845	1.089
102	0.147	2.94	7.845	1.089
103	0.148	2.96	8.238	1.144
104	0.149	2.98	8.238	1.144
105	0.151	3.02	8.238	1.144
106	0.152	3.04	8.63	1.198
107	0.154	3.08	8.63	1.198
108	0.155	3.1	8.63	1.198
109	0.157	3.14	8.63	1.198
110	0.158	3.16	9.022	1.253
111	0.159	3.18	9.022	1.253
112	0.161	3.22	9.022	1.253
113	0.162	3.24	9.022	1.253
114	0.164	3.28	9.022	1.253
115	0.165	3.3	9.022	1.253
116	0.166	3.32	9.022	1.253

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 2**

117	0.168	3.36	9.022	1.253
118	0.169	3.38	9.022	1.253
119	0.171	3.42	9.415	1.307
120	0.172	3.44	9.414	1.307
121	0.173	3.46	9.414	1.307
122	0.175	3.5	9.414	1.307
123	0.176	3.52	9.414	1.307
124	0.177	3.54	9.807	1.362
125	0.179	3.58	9.807	1.362
126	0.18	3.6	9.807	1.362
127	0.182	3.64	9.807	1.362
128	0.183	3.66	9.807	1.362
129	0.184	3.68	9.807	1.362
130	0.186	3.72	9.807	1.362
131	0.187	3.74	9.807	1.362
132	0.189	3.78	10.2	1.416
133	0.19	3.8	10.199	1.416
134	0.191	3.82	10.199	1.416
135	0.193	3.86	10.199	1.416
136	0.194	3.88	10.199	1.416
137	0.196	3.92	10.199	1.416
138	0.197	3.94	10.199	1.416
139	0.198	3.96	10.199	1.416
140	0.199	3.98	10.199	1.416
141	0.201	4.02	10.199	1.416
142	0.202	4.04	10.199	1.416
143	0.204	4.08	10.199	1.416
144	0.205	4.1	10.199	1.416
145	0.207	4.14	9.807	1.362
146	0.208	4.16	9.414	1.307
147	0.209	4.18	9.023	1.253
148	0.211	4.22	8.239	1.144
149	0.212	4.24	7.454	1.035
150	0.214	4.28	6.669	0.926
151	0.215	4.3	6.669	0.926
152	0.216	4.32	-1.569	-0.218
153	0.218	4.36	-1.569	-0.218
154	0.219	4.38	-1.569	-0.218
155	0.221	4.42	-1.569	-0.218

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 2**

156	0.222	4.44	-1.569	-0.218
157	0.223	4.46	-1.569	-0.218
158	0.225	4.5	-1.569	-0.218
159	0.226	4.52	-1.569	-0.218
160	0.228	4.56	-1.569	-0.218
161	0.229	4.58	-1.569	-0.218
162	0.23	4.6	-1.569	-0.218
163	0.232	4.64	-1.569	-0.218
164	0.233	4.66	-1.569	-0.218
165	0.235	4.7	-1.569	-0.218
166	0.236	4.72	-1.569	-0.218
167	0.237	4.74	-1.96	-0.272
168	0.239	4.78	-1.569	-0.218
169	0.24	4.8	-1.569	-0.218
170	0.242	4.84	-1.569	-0.218
171	0.243	4.86	-1.569	-0.218
172	0.244	4.88	-1.569	-0.218
173	0.246	4.92	-1.569	-0.218
174	0.247	4.94	-1.569	-0.218
175	0.248	4.96	-1.569	-0.218
176	0.25	5	-1.569	-0.218
177	0.251	5.02	-1.569	-0.218

### Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 3

No.	Time( min)	Elongation( mm)	Force( N)	Tensión ( MPa)
1	0	0	0	0
2	0.005	0.1	1.57	0.2
3	0.007	0.14	2.354	0.3
4	0.009	0.18	2.746	0.35
5	0.01	0.2	3.53	0.449
6	0.012	0.24	3.923	0.499
7	0.014	0.28	4.708	0.599
8	0.016	0.32	5.492	0.699
9	0.017	0.34	6.276	0.799
10	0.019	0.38	7.061	0.899
11	0.021	0.42	7.453	0.949
12	0.022	0.44	8.239	1.049
13	0.024	0.48	8.63	1.099
14	0.026	0.52	9.023	1.149
15	0.027	0.54	9.414	1.199
16	0.029	0.58	9.807	1.248
17	0.03	0.6	9.807	1.248
18	0.032	0.64	10.199	1.298
19	0.033	0.66	10.199	1.298
20	0.035	0.7	10.199	1.298
21	0.036	0.72	10.199	1.298
22	0.037	0.74	10.199	1.298
23	0.039	0.78	10.199	1.298
24	0.04	0.8	10.199	1.298
25	0.041	0.82	10.199	1.298
26	0.043	0.86	10.199	1.298
27	0.044	0.88	10.199	1.298
28	0.046	0.92	10.199	1.298
29	0.047	0.94	10.199	1.298
30	0.048	0.96	10.199	1.298
31	0.05	1	10.199	1.298
32	0.051	1.02	10.199	1.298
33	0.053	1.06	10.199	1.298
34	0.054	1.08	10.199	1.298
35	0.055	1.1	10.591	1.348
36	0.057	1.14	10.199	1.298
37	0.058	1.16	10.199	1.298

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 3**

38	0.059	1.18	10.199	1.298
39	0.061	1.22	10.591	1.348
40	0.062	1.24	10.984	1.398
41	0.064	1.28	10.983	1.398
42	0.065	1.3	10.592	1.348
43	0.066	1.32	10.2	1.298
44	0.068	1.36	10.592	1.348
45	0.069	1.38	10.591	1.348
46	0.071	1.42	10.983	1.398
47	0.072	1.44	10.592	1.348
48	0.073	1.46	10.984	1.398
49	0.075	1.5	10.983	1.398
50	0.076	1.52	10.983	1.398
51	0.078	1.56	10.983	1.398
52	0.079	1.58	10.592	1.348
53	0.08	1.6	10.984	1.398
54	0.082	1.64	10.983	1.398
55	0.083	1.66	10.983	1.398
56	0.084	1.68	10.983	1.398
57	0.086	1.72	10.592	1.348
58	0.087	1.74	10.984	1.398
59	0.089	1.78	10.983	1.398
60	0.09	1.8	10.592	1.348
61	0.091	1.82	10.591	1.348
62	0.093	1.86	10.984	1.398
63	0.094	1.88	10.983	1.398
64	0.096	1.92	10.983	1.398
65	0.097	1.94	11.376	1.448
66	0.098	1.96	11.768	1.498
67	0.1	2	12.161	1.548
68	0.102	2.04	12.553	1.598
69	0.103	2.06	11.376	1.448
70	0.104	2.08	11.376	1.448
71	0.106	2.12	11.768	1.498
72	0.108	2.16	12.161	1.548
73	0.109	2.18	12.553	1.598
74	0.11	2.2	12.553	1.598
75	0.112	2.24	12.945	1.648
76	0.113	2.26	12.945	1.648

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 3**

77	0.114	2.28	13.337	1.698
78	0.116	2.32	12.553	1.598
79	0.117	2.34	10.592	1.348
80	0.118	2.36	10.984	1.398
81	0.12	2.4	10.983	1.398
82	0.121	2.42	11.376	1.448
83	0.123	2.46	11.376	1.448
84	0.124	2.48	11.768	1.498
85	0.125	2.5	11.768	1.498
86	0.127	2.54	12.161	1.548
87	0.128	2.56	12.16	1.548
88	0.13	2.6	12.553	1.598
89	0.131	2.62	12.553	1.598
90	0.132	2.64	12.553	1.598
91	0.134	2.68	12.945	1.648
92	0.135	2.7	12.945	1.648
93	0.136	2.72	13.337	1.698
94	0.138	2.76	13.337	1.698
95	0.139	2.78	13.337	1.698
96	0.141	2.82	13.73	1.748
97	0.142	2.84	13.729	1.748
98	0.143	2.86	14.122	1.798
99	0.145	2.9	14.122	1.798
100	0.147	2.94	14.122	1.798
101	0.148	2.96	14.122	1.798
102	0.149	2.98	14.514	1.848
103	0.151	3.02	14.514	1.848
104	0.152	3.04	14.514	1.848
105	0.153	3.06	14.514	1.848
106	0.155	3.1	14.514	1.848
107	0.156	3.12	14.514	1.848
108	0.158	3.16	14.514	1.848
109	0.159	3.18	14.907	1.898
110	0.16	3.2	14.906	1.898
111	0.162	3.24	14.906	1.898
112	0.163	3.26	14.906	1.898
113	0.164	3.28	14.906	1.898
114	0.166	3.32	14.906	1.898
115	0.167	3.34	14.906	1.898

**Resultados obtenidos de ensayo de tracción- Probeta 3**

116	0.168	3.36	14.906	1.898
117	0.17	3.4	14.906	1.898
118	0.171	3.42	15.299	1.948
119	0.173	3.46	14.907	1.898
120	0.174	3.48	15.299	1.948
121	0.176	3.52	15.298	1.948
122	0.177	3.54	15.298	1.948
123	0.178	3.56	15.298	1.948
124	0.18	3.6	15.298	1.948
125	0.181	3.62	14.907	1.898
126	0.182	3.64	15.299	1.948
127	0.184	3.68	15.298	1.948
128	0.185	3.7	15.298	1.948
129	0.186	3.72	14.907	1.898
130	0.188	3.76	14.906	1.898
131	0.189	3.78	14.906	1.898
132	0.191	3.82	14.906	1.898
133	0.192	3.84	14.906	1.898
134	0.193	3.86	14.122	1.798
135	0.195	3.9	13.338	1.698
136	0.196	3.92	10.984	1.398
137	0.198	3.96	0.785	0.1
138	0.199	3.98	0.393	0.05
139	0.201	4.02	0.392	0.05
140	0.202	4.04	0.392	0.05
141	0.203	4.06	0.392	0.05
142	0.205	4.1	0.392	0.05
143	0.206	4.12	0.392	0.05
144	0.207	4.14	0.392	0.05
145	0.209	4.18	0.392	0.05
146	0.21	4.2	0.392	0.05
147	0.211	4.22	0.392	0.05
148	0.213	4.26	0.392	0.05
149	0.214	4.28	0.392	0.05
150	0.216	4.32	0.392	0.05
151	0.217	4.34	0.392	0.05
152	0.218	4.36	0.392	0.05

**ANEXO 2**

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

No.	Time( min)	Force( N)	Tensión (Mpa)
1	0	0	0
2	0.005	0	0
3	0.007	0	0
4	0.008	0	0
5	0.009	0	0
6	0.011	0	0
7	0.012	0	0
8	0.013	0	0
9	0.015	0	0
10	0.016	0	0
11	0.017	0	0
12	0.019	0	0
13	0.02	0	0
14	0.022	0	0
15	0.023	0	0
16	0.024	0	0
17	0.026	0	0
18	0.027	0	0
19	0.029	0	0
20	0.03	0	0
21	0.031	0	0
22	0.033	0	0
23	0.034	0	0
24	0.035	0	0
25	0.037	0	0
26	0.038	0	0
27	0.039	0	0
28	0.041	0	0
29	0.042	0	0
30	0.043	0	0
31	0.045	0	0
32	0.046	0	0
33	0.048	0	0
34	0.049	0	0
35	0.051	0	0
36	0.052	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

37	0.053	0	0
38	0.055	0	0
39	0.056	0	0
40	0.058	0	0
41	0.059	0	0
42	0.06	-0.392	-0.05
43	0.062	0.001	0
44	0.064	0	0
45	0.065	0	0
46	0.067	0	0
47	0.068	0	0
48	0.069	0	0
49	0.071	0	0
50	0.072	0	0
51	0.073	0	0
52	0.075	0	0
53	0.076	0	0
54	0.078	0	0
55	0.079	0	0
56	0.08	0	0
57	0.082	0	0
58	0.083	0	0
59	0.084	0	0
60	0.086	0	0
61	0.087	0	0
62	0.089	0	0
63	0.09	0	0
64	0.091	0	0
65	0.093	0	0
66	0.094	0	0
67	0.096	0	0
68	0.097	0	0
69	0.098	0	0
70	0.1	0	0
71	0.101	-0.392	-0.05
72	0.103	0.001	0
73	0.104	0	0
74	0.105	0	0
75	0.107	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

76	0.108	0	0
77	0.11	0	0
78	0.111	0	0
79	0.112	0	0
80	0.114	0	0
81	0.115	0	0
82	0.117	0	0
83	0.118	0	0
84	0.119	0	0
85	0.121	0	0
86	0.122	0	0
87	0.123	0	0
88	0.125	0	0
89	0.126	0	0
90	0.128	0	0
91	0.129	0	0
92	0.13	0	0
93	0.132	0	0
94	0.133	0	0
95	0.135	0	0
96	0.136	0	0
97	0.138	0	0
98	0.139	0	0
99	0.14	0	0
100	0.142	0	0
101	0.143	0.393	0.05
102	0.145	0.001	0
103	0.146	0.392	0.05
104	0.147	0.392	0.05
105	0.149	0.392	0.05
106	0.15	0.392	0.05
107	0.152	0.392	0.05
108	0.153	0.392	0.05
109	0.154	0.392	0.05
110	0.156	0.785	0.1
111	0.158	0.785	0.1
112	0.159	0.785	0.1
113	0.16	0.785	0.1
114	0.162	0.785	0.1

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

115	0.163	1.178	0.15
116	0.165	0.785	0.1
117	0.166	0.785	0.1
118	0.167	1.177	0.15
119	0.169	1.177	0.15
120	0.17	1.177	0.15
121	0.172	1.177	0.15
122	0.173	1.177	0.15
123	0.174	1.177	0.15
124	0.176	1.177	0.15
125	0.177	1.177	0.15
126	0.179	1.177	0.15
127	0.18	1.177	0.15
128	0.181	1.57	0.2
129	0.183	1.177	0.15
130	0.185	1.177	0.15
131	0.186	1.57	0.2
132	0.187	1.569	0.2
133	0.189	1.569	0.2
134	0.19	1.569	0.2
135	0.192	1.962	0.25
136	0.193	1.57	0.2
137	0.194	1.569	0.2
138	0.196	1.569	0.2
139	0.197	1.569	0.2
140	0.198	1.961	0.25
141	0.2	1.961	0.25
142	0.201	1.961	0.25
143	0.203	1.961	0.25
144	0.204	1.961	0.25
145	0.205	1.961	0.25
146	0.207	1.961	0.25
147	0.208	1.961	0.25
148	0.21	1.961	0.25
149	0.211	1.961	0.25
150	0.212	2.355	0.3
151	0.214	2.354	0.3
152	0.215	2.354	0.3
153	0.217	2.354	0.3

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

154	0.218	2.354	0.3
155	0.219	2.354	0.3
156	0.221	2.354	0.3
157	0.222	2.354	0.3
158	0.223	2.354	0.3
159	0.225	2.354	0.3
160	0.226	2.354	0.3
161	0.228	2.354	0.3
162	0.229	2.354	0.3
163	0.23	2.354	0.3
164	0.232	2.354	0.3
165	0.233	2.746	0.35
166	0.235	2.746	0.35
167	0.236	2.746	0.35
168	0.237	2.746	0.35
169	0.239	2.746	0.35
170	0.24	2.746	0.35
171	0.242	2.746	0.35
172	0.243	2.746	0.35
173	0.244	3.139	0.4
174	0.246	3.138	0.4
175	0.248	3.138	0.4
176	0.249	3.138	0.4
177	0.25	3.138	0.4
178	0.252	3.138	0.4
179	0.253	3.138	0.4
180	0.255	3.138	0.4
181	0.256	3.138	0.4
182	0.258	3.138	0.4
183	0.259	3.138	0.4
184	0.26	3.138	0.4
185	0.262	3.138	0.4
186	0.263	3.138	0.4
187	0.265	3.531	0.449
188	0.266	3.53	0.449
189	0.267	3.139	0.4
190	0.269	3.531	0.45
191	0.27	3.53	0.449
192	0.272	3.53	0.449

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

193	0.273	3.53	0.449
194	0.274	3.53	0.449
195	0.276	3.53	0.449
196	0.277	3.53	0.449
197	0.278	3.53	0.449
198	0.28	3.53	0.449
199	0.281	3.53	0.449
200	0.283	3.53	0.449
201	0.284	3.53	0.449
202	0.285	3.923	0.499
203	0.287	3.923	0.499
204	0.288	3.923	0.499
205	0.29	3.923	0.499
206	0.291	3.923	0.499
207	0.292	3.923	0.499
208	0.293	3.923	0.499
209	0.295	3.923	0.499
210	0.296	3.923	0.499
211	0.298	3.923	0.499
212	0.299	3.923	0.499
213	0.301	3.923	0.499
214	0.302	3.923	0.499
215	0.303	3.923	0.499
216	0.305	3.923	0.499
217	0.306	4.315	0.549
218	0.308	3.923	0.499
219	0.309	4.315	0.549
220	0.311	4.315	0.549
221	0.312	4.315	0.549
222	0.314	4.315	0.549
223	0.315	4.315	0.549
224	0.316	4.315	0.549
225	0.318	4.315	0.549
226	0.319	4.315	0.549
227	0.321	4.315	0.549
228	0.322	4.315	0.549
229	0.323	4.315	0.549
230	0.325	4.315	0.549
231	0.326	4.315	0.549

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

232	0.328	4.708	0.599
233	0.329	4.707	0.599
234	0.33	4.315	0.549
235	0.332	4.315	0.549
236	0.333	4.315	0.549
237	0.335	4.315	0.549
238	0.336	4.315	0.549
239	0.337	4.315	0.549
240	0.339	4.708	0.599
241	0.34	4.315	0.549
242	0.341	4.707	0.599
243	0.343	4.315	0.549
244	0.344	4.315	0.549
245	0.346	4.707	0.599
246	0.347	4.707	0.599
247	0.348	4.707	0.599
248	0.35	4.707	0.599
249	0.351	4.707	0.599
250	0.353	4.707	0.599
251	0.354	4.707	0.599
252	0.355	4.707	0.599
253	0.357	4.707	0.599
254	0.358	4.707	0.599
255	0.36	4.707	0.599
256	0.361	4.707	0.599
257	0.362	4.707	0.599
258	0.364	4.707	0.599
259	0.365	4.707	0.599
260	0.367	4.707	0.599
261	0.368	4.707	0.599
262	0.369	4.707	0.599
263	0.371	4.707	0.599
264	0.372	4.707	0.599
265	0.373	4.707	0.599
266	0.375	4.707	0.599
267	0.376	4.707	0.599
268	0.378	4.707	0.599
269	0.379	4.707	0.599
270	0.38	4.707	0.599

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

271	0.382	4.707	0.599
272	0.383	4.707	0.599
273	0.385	4.707	0.599
274	0.386	4.707	0.599
275	0.387	4.707	0.599
276	0.389	4.707	0.599
277	0.39	4.707	0.599
278	0.392	4.707	0.599
279	0.393	5.1	0.649
280	0.395	5.099	0.649
281	0.396	5.099	0.649
282	0.397	5.099	0.649
283	0.399	4.708	0.599
284	0.4	4.707	0.599
285	0.402	5.1	0.649
286	0.403	5.099	0.649
287	0.405	5.099	0.649
288	0.406	5.099	0.649
289	0.408	5.099	0.649
290	0.409	5.099	0.649
291	0.41	5.099	0.649
292	0.412	5.099	0.649
293	0.413	5.099	0.649
294	0.415	5.099	0.649
295	0.416	5.099	0.649
296	0.417	5.099	0.649
297	0.418	5.099	0.649
298	0.42	5.099	0.649
299	0.421	5.099	0.649
300	0.423	5.099	0.649
301	0.424	5.099	0.649
302	0.426	5.099	0.649
303	0.427	5.099	0.649
304	0.428	5.099	0.649
305	0.43	5.099	0.649
306	0.431	5.099	0.649
307	0.433	4.708	0.599
308	0.434	4.707	0.599
309	0.435	4.707	0.599

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

310	0.437	4.707	0.599
311	0.438	4.707	0.599
312	0.439	5.1	0.649
313	0.441	4.708	0.599
314	0.442	4.707	0.599
315	0.444	5.1	0.649
316	0.445	4.708	0.599
317	0.447	5.1	0.649
318	0.448	5.099	0.649
319	0.449	5.099	0.649
320	0.451	5.099	0.649
321	0.452	5.099	0.649
322	0.453	5.099	0.649
323	0.455	5.099	0.649
324	0.456	5.099	0.649
325	0.458	5.099	0.649
326	0.459	5.099	0.649
327	0.46	5.099	0.649
328	0.462	5.099	0.649
329	0.463	5.099	0.649
330	0.465	5.099	0.649
331	0.466	5.099	0.649
332	0.467	5.099	0.649
333	0.468	5.099	0.649
334	0.47	5.099	0.649
335	0.471	5.099	0.649
336	0.473	4.707	0.599
337	0.474	5.1	0.649
338	0.476	5.099	0.649
339	0.477	5.099	0.649
340	0.478	4.708	0.599
341	0.48	4.707	0.599
342	0.481	4.707	0.599
343	0.483	4.707	0.599
344	0.484	4.707	0.599
345	0.485	4.707	0.599
346	0.487	4.707	0.599
347	0.488	4.707	0.599
348	0.49	4.707	0.599

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

349	0.491	4.707	0.599
350	0.492	4.707	0.599
351	0.493	4.707	0.599
352	0.495	4.707	0.599
353	0.496	4.707	0.599
354	0.498	4.315	0.549
355	0.499	4.708	0.599
356	0.501	4.315	0.549
357	0.502	4.708	0.599
358	0.503	4.707	0.599
359	0.505	4.707	0.599
360	0.506	4.707	0.599
361	0.508	4.707	0.599
362	0.509	4.707	0.599
363	0.51	4.707	0.599
364	0.512	4.707	0.599
365	0.513	4.315	0.549
366	0.515	4.315	0.549
367	0.516	4.315	0.549
368	0.517	4.315	0.549
369	0.519	4.315	0.549
370	0.52	4.315	0.549
371	0.522	4.315	0.549
372	0.523	4.708	0.599
373	0.524	4.707	0.599
374	0.526	4.707	0.599
375	0.527	4.707	0.599
376	0.528	4.707	0.599
377	0.53	4.707	0.599
378	0.531	4.707	0.599
379	0.533	4.707	0.599
380	0.534	4.707	0.599
381	0.535	4.707	0.599
382	0.537	4.707	0.599
383	0.538	4.707	0.599
384	0.54	4.707	0.599
385	0.541	4.315	0.549
386	0.542	4.315	0.549
387	0.544	4.315	0.549

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

388	0.545	4.315	0.549
389	0.547	4.315	0.549
390	0.548	4.315	0.549
391	0.549	4.315	0.549
392	0.551	4.315	0.549
393	0.552	4.315	0.549
394	0.553	4.315	0.549
395	0.555	4.708	0.599
396	0.556	4.315	0.549
397	0.558	4.315	0.549
398	0.559	4.315	0.549
399	0.561	4.315	0.549
400	0.562	4.315	0.549
401	0.563	4.315	0.549
402	0.565	4.315	0.549
403	0.566	4.315	0.549
404	0.567	4.315	0.549
405	0.569	4.315	0.549
406	0.57	4.315	0.549
407	0.572	4.315	0.549
408	0.573	4.315	0.549
409	0.574	4.315	0.549
410	0.576	4.315	0.549
411	0.577	4.315	0.549
412	0.579	4.315	0.549
413	0.58	4.315	0.549
414	0.582	3.923	0.499
415	0.583	3.923	0.499
416	0.584	3.923	0.499
417	0.586	4.315	0.549
418	0.587	3.923	0.499
419	0.589	3.923	0.499
420	0.59	4.315	0.549
421	0.592	3.923	0.499
422	0.593	4.316	0.549
423	0.594	3.924	0.499
424	0.596	3.923	0.499
425	0.597	3.923	0.499
426	0.598	3.923	0.499

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 1**

427	0.6	3.923	0.499
428	0.601	3.923	0.499
429	0.603	3.923	0.499
430	0.604	4.316	0.549
431	0.606	4.315	0.549
432	0.607	4.315	0.549
433	0.609	3.924	0.499
434	0.61	3.923	0.499
435	0.611	3.923	0.499
436	0.613	3.923	0.499
437	0.615	3.531	0.45
438	0.616	3.923	0.499
439	0.617	3.923	0.499
440	0.619	3.923	0.499
441	0.62	3.923	0.499
442	0.622	3.923	0.499
443	0.623	3.923	0.499
444	0.624	3.923	0.499
445	0.626	3.923	0.499
446	0.627	3.923	0.499
447	0.628	3.923	0.499
448	0.63	3.531	0.45
449	0.631	3.923	0.499
450	0.633	3.923	0.499
451	0.634	3.923	0.499
452	0.636	3.923	0.499
453	0.637	3.923	0.499
454	0.638	3.923	0.499
455	0.64	3.531	0.45
456	0.641	3.923	0.499
457	0.642	3.923	0.499
458	0.644	3.923	0.499
459	0.645	3.923	0.499
460	0.647	3.923	0.499
461	0.648	3.923	0.499
462	0.649	3.923	0.499
463	0.651	3.923	0.499
464	0.652	3.923	0.499
465	0.654	3.923	0.499

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

No.	Time( min)	Force( N)	Tensión (Mpa)
1	0	0	0
2	0.005	0	0
3	0.007	0	0
4	0.008	0	0
5	0.009	0	0
6	0.011	0	0
7	0.012	0	0
8	0.014	0	0
9	0.015	0	0
10	0.016	0	0
11	0.018	0	0
12	0.019	0	0
13	0.021	0	0
14	0.022	0	0
15	0.023	0	0
16	0.025	0	0
17	0.026	0	0
18	0.028	0	0
19	0.029	0	0
20	0.03	0	0
21	0.032	0	0
22	0.033	0	0
23	0.034	0	0
24	0.036	0	0
25	0.037	0	0
26	0.039	0	0
27	0.04	0	0
28	0.041	0	0
29	0.043	0	0
30	0.044	0	0
31	0.046	0	0
32	0.047	0	0
33	0.048	0	0
34	0.05	0	0
35	0.051	0	0
36	0.053	0	0
37	0.054	0	0
38	0.055	0	0
39	0.057	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

40	0.058	0	0
41	0.059	0	0
42	0.061	0	0
43	0.062	0	0
44	0.064	0	0
45	0.065	0	0
46	0.066	0	0
47	0.068	0	0
48	0.069	0	0
49	0.071	0	0
50	0.072	0	0
51	0.073	0	0
52	0.075	0	0
53	0.076	0	0
54	0.078	0	0
55	0.079	0	0
56	0.08	0	0
57	0.082	0	0
58	0.083	0	0
59	0.084	0	0
60	0.086	0	0
61	0.087	0	0
62	0.089	0	0
63	0.09	0	0
64	0.091	0	0
65	0.093	0	0
66	0.094	0	0
67	0.096	0	0
68	0.097	0	0
69	0.098	0	0
70	0.1	0	0
71	0.101	0	0
72	0.103	0	0
73	0.104	0	0
74	0.105	0	0
75	0.107	0	0
76	0.108	0	0
77	0.109	0	0
78	0.111	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

79	0.112	0	0
80	0.114	0	0
81	0.115	0	0
82	0.116	0	0
83	0.118	0	0
84	0.119	0	0
85	0.121	0	0
86	0.122	0	0
87	0.123	0	0
88	0.125	0	0
89	0.126	0	0
90	0.128	0	0
91	0.129	0	0
92	0.13	0	0
93	0.132	0	0
94	0.133	0	0
95	0.135	0	0
96	0.136	0	0
97	0.137	0	0
98	0.139	0	0
99	0.14	0	0
100	0.141	0	0
101	0.143	0	0
102	0.144	0	0
103	0.146	0	0
104	0.147	0	0
105	0.148	0	0
106	0.15	0	0
107	0.151	0	0
108	0.153	0	0
109	0.154	0	0
110	0.155	0	0
111	0.157	0	0
112	0.158	0	0
113	0.159	0	0
114	0.161	0	0
115	0.162	0	0
116	0.164	0	0
117	0.165	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

118	0.166	0	0
119	0.168	0	0
120	0.169	0	0
121	0.171	0	0
122	0.172	0	0
123	0.173	0	0
124	0.175	0	0
125	0.176	0	0
126	0.178	0	0
127	0.179	0	0
128	0.18	0	0
129	0.182	0	0
130	0.183	0	0
131	0.184	0	0
132	0.186	0	0
133	0.187	0	0
134	0.189	0	0
135	0.19	0	0
136	0.191	0	0
137	0.193	0	0
138	0.194	0	0
139	0.196	0	0
140	0.197	0	0
141	0.198	0	0
142	0.2	0	0
143	0.201	0	0
144	0.203	0	0
145	0.204	0	0
146	0.205	0	0
147	0.207	0	0
148	0.208	0	0
149	0.209	0	0
150	0.211	0	0
151	0.212	0	0
152	0.214	0	0
153	0.215	0	0
154	0.216	0	0
155	0.218	0	0
156	0.219	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

157	0.221	0	0
158	0.222	0	0
159	0.223	0	0
160	0.225	0	0
161	0.226	0	0
162	0.227	0	0
163	0.229	0	0
164	0.23	0	0
165	0.232	0	0
166	0.233	0	0
167	0.234	0	0
168	0.236	0	0
169	0.237	0	0
170	0.239	0	0
171	0.24	0	0
172	0.241	0	0
173	0.243	0	0
174	0.244	0	0
175	0.246	0	0
176	0.247	0	0
177	0.248	0	0
178	0.25	0	0
179	0.251	0	0
180	0.253	0	0
181	0.254	0	0
182	0.255	0	0
183	0.257	0	0
184	0.258	0	0
185	0.259	0	0
186	0.261	0	0
187	0.262	0	0
188	0.264	0	0
189	0.265	0	0
190	0.266	0	0
191	0.268	0	0
192	0.269	0	0
193	0.271	0	0
194	0.272	0	0
195	0.273	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

196	0.275	0	0
197	0.276	0	0
198	0.278	0	0
199	0.279	0	0
200	0.28	0	0
201	0.282	0	0
202	0.283	0	0
203	0.284	0	0
204	0.286	0	0
205	0.287	0	0
206	0.289	0.393	0.05
207	0.29	0.001	0
208	0.292	0	0
209	0.293	0	0
210	0.295	0	0
211	0.296	0.392	0.05
212	0.297	0.392	0.05
213	0.299	0.392	0.05
214	0.3	0.392	0.05
215	0.301	0.392	0.05
216	0.303	0.392	0.05
217	0.304	0.392	0.05
218	0.305	0.392	0.05
219	0.307	0.785	0.1
220	0.309	0.785	0.1
221	0.31	0.785	0.1
222	0.311	0.785	0.1
223	0.313	0.785	0.1
224	0.314	0.785	0.1
225	0.315	0.785	0.1
226	0.317	0.785	0.1
227	0.318	0.785	0.1
228	0.319	1.178	0.15
229	0.321	1.177	0.15
230	0.322	1.177	0.15
231	0.324	1.177	0.15
232	0.325	1.177	0.15
233	0.327	1.177	0.15
234	0.328	1.177	0.15

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

235	0.33	1.569	0.2
236	0.331	1.569	0.2
237	0.333	1.177	0.15
238	0.334	1.569	0.2
239	0.335	1.569	0.2
240	0.337	1.569	0.2
241	0.338	1.569	0.2
242	0.34	1.569	0.2
243	0.341	1.569	0.2
244	0.342	1.569	0.2
245	0.343	1.962	0.25
246	0.345	1.961	0.25
247	0.346	1.961	0.25
248	0.348	1.961	0.25
249	0.349	1.961	0.25
250	0.351	1.961	0.25
251	0.352	1.961	0.25
252	0.353	1.961	0.25
253	0.355	1.961	0.25
254	0.356	1.961	0.25
255	0.358	2.354	0.3
256	0.359	2.354	0.3
257	0.361	2.354	0.3
258	0.362	2.354	0.3
259	0.363	2.354	0.3
260	0.365	2.354	0.3
261	0.366	2.354	0.3
262	0.367	2.354	0.3
263	0.369	2.354	0.3
264	0.37	2.354	0.3
265	0.371	2.746	0.35
266	0.373	2.746	0.35
267	0.375	2.746	0.35
268	0.376	2.746	0.35
269	0.378	2.746	0.35
270	0.379	2.746	0.35
271	0.38	2.746	0.35
272	0.382	2.746	0.35
273	0.383	2.746	0.35

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

274	0.385	3.139	0.4
275	0.386	2.746	0.35
276	0.388	3.139	0.4
277	0.389	3.138	0.4
278	0.39	3.138	0.4
279	0.392	3.138	0.4
280	0.393	3.138	0.4
281	0.395	3.138	0.4
282	0.396	3.138	0.4
283	0.397	3.138	0.4
284	0.399	3.138	0.4
285	0.4	3.138	0.4
286	0.402	3.138	0.4
287	0.403	3.138	0.4
288	0.404	3.138	0.4
289	0.406	3.138	0.4
290	0.407	3.138	0.4
291	0.409	3.138	0.4
292	0.41	3.531	0.449
293	0.412	3.53	0.449
294	0.413	3.53	0.449
295	0.415	3.53	0.449
296	0.416	3.53	0.449
297	0.417	3.53	0.449
298	0.419	3.53	0.449
299	0.42	3.53	0.449
300	0.422	3.53	0.449
301	0.423	3.53	0.449
302	0.424	3.53	0.449
303	0.426	3.53	0.449
304	0.427	3.53	0.449
305	0.428	3.53	0.449
306	0.43	3.924	0.499
307	0.431	3.531	0.45
308	0.433	3.923	0.499
309	0.434	3.923	0.499
310	0.435	3.923	0.499
311	0.436	3.923	0.499
312	0.438	3.923	0.499

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

313	0.439	3.923	0.499
314	0.441	3.923	0.499
315	0.442	3.923	0.499
316	0.443	3.923	0.499
317	0.445	3.923	0.499
318	0.446	3.923	0.499
319	0.448	3.923	0.499
320	0.449	3.923	0.499
321	0.451	3.923	0.499
322	0.452	4.316	0.549
323	0.454	4.315	0.549
324	0.455	4.315	0.549
325	0.457	4.315	0.549
326	0.458	4.315	0.549
327	0.459	4.315	0.549
328	0.461	4.315	0.549
329	0.462	4.315	0.549
330	0.464	4.315	0.549
331	0.465	4.315	0.549
332	0.466	4.707	0.599
333	0.468	4.315	0.549
334	0.469	4.707	0.599
335	0.471	4.707	0.599
336	0.472	4.707	0.599
337	0.473	4.315	0.549
338	0.475	4.315	0.549
339	0.476	4.707	0.599
340	0.478	4.707	0.599
341	0.479	4.707	0.599
342	0.48	4.707	0.599
343	0.482	4.707	0.599
344	0.483	4.707	0.599
345	0.485	4.707	0.599
346	0.486	4.707	0.599
347	0.487	4.707	0.599
348	0.489	4.707	0.599
349	0.49	4.707	0.599
350	0.491	4.707	0.599
351	0.493	4.707	0.599

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

352	0.494	4.707	0.599
353	0.496	4.707	0.599
354	0.497	5.1	0.649
355	0.499	4.708	0.599
356	0.5	4.707	0.599
357	0.502	4.707	0.599
358	0.503	4.707	0.599
359	0.505	5.1	0.649
360	0.506	4.707	0.599
361	0.508	4.707	0.599
362	0.509	5.1	0.649
363	0.51	5.099	0.649
364	0.512	5.099	0.649
365	0.513	4.707	0.599
366	0.514	5.1	0.649
367	0.516	5.099	0.649
368	0.517	5.099	0.649
369	0.518	5.099	0.649
370	0.52	4.707	0.599
371	0.521	5.1	0.649
372	0.523	5.099	0.649
373	0.524	5.099	0.649
374	0.526	5.099	0.649
375	0.527	5.099	0.649
376	0.528	5.099	0.649
377	0.53	5.099	0.649
378	0.531	5.099	0.649
379	0.533	5.099	0.649
380	0.534	5.099	0.649
381	0.535	5.099	0.649
382	0.537	5.099	0.649
383	0.538	5.099	0.649
384	0.539	5.099	0.649
385	0.541	5.099	0.649
386	0.542	5.099	0.649
387	0.543	5.099	0.649
388	0.545	5.099	0.649
389	0.546	5.099	0.649
390	0.548	5.099	0.649

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

391	0.549	5.099	0.649
392	0.55	5.099	0.649
393	0.552	5.099	0.649
394	0.553	5.099	0.649
395	0.555	5.099	0.649
396	0.556	5.099	0.649
397	0.557	5.099	0.649
398	0.559	5.099	0.649
399	0.56	5.099	0.649
400	0.562	5.099	0.649
401	0.563	5.099	0.649
402	0.565	5.099	0.649
403	0.566	5.099	0.649
404	0.567	5.099	0.649
405	0.569	5.099	0.649
406	0.57	5.099	0.649
407	0.571	5.099	0.649
408	0.573	5.099	0.649
409	0.574	5.492	0.699
410	0.576	5.492	0.699
411	0.577	5.1	0.649
412	0.578	5.493	0.699
413	0.58	5.492	0.699
414	0.581	5.492	0.699
415	0.582	5.492	0.699
416	0.584	5.1	0.649
417	0.585	5.099	0.649
418	0.587	5.099	0.649
419	0.588	5.099	0.649
420	0.589	5.099	0.649
421	0.591	5.099	0.649
422	0.592	5.099	0.649
423	0.594	5.099	0.649
424	0.595	5.099	0.649
425	0.596	5.099	0.649
426	0.598	5.099	0.649
427	0.599	5.099	0.649
428	0.601	5.099	0.649
429	0.602	5.099	0.649

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

430	0.603	5.099	0.649
431	0.605	5.099	0.649
432	0.606	5.099	0.649
433	0.608	5.099	0.649
434	0.609	5.099	0.649
435	0.61	5.099	0.649
436	0.612	5.099	0.649
437	0.613	5.099	0.649
438	0.615	5.099	0.649
439	0.616	5.099	0.649
440	0.617	5.099	0.649
441	0.619	5.099	0.649
442	0.62	5.099	0.649
443	0.622	5.099	0.649
444	0.623	5.099	0.649
445	0.624	5.099	0.649
446	0.626	5.099	0.649
447	0.627	5.099	0.649
448	0.628	5.099	0.649
449	0.63	5.099	0.649
450	0.631	5.099	0.649
451	0.633	5.099	0.649
452	0.634	5.099	0.649
453	0.635	5.099	0.649
454	0.636	5.099	0.649
455	0.638	5.099	0.649
456	0.639	5.099	0.649
457	0.641	5.099	0.649
458	0.642	5.099	0.649
459	0.643	5.099	0.649
460	0.645	5.099	0.649
461	0.646	5.099	0.649
462	0.648	5.099	0.649
463	0.649	5.099	0.649
464	0.651	4.708	0.599
465	0.652	4.707	0.599
466	0.653	5.1	0.649
467	0.655	5.099	0.649
468	0.656	5.099	0.649

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

469	0.658	5.099	0.649
470	0.659	5.099	0.649
471	0.66	4.708	0.599
472	0.661	4.707	0.599
473	0.663	4.707	0.599
474	0.664	4.707	0.599
475	0.666	4.707	0.599
476	0.667	4.707	0.599
477	0.668	4.707	0.599
478	0.67	4.707	0.599
479	0.671	4.707	0.599
480	0.673	4.707	0.599
481	0.674	4.707	0.599
482	0.676	4.707	0.599
483	0.677	4.707	0.599
484	0.678	4.707	0.599
485	0.68	4.707	0.599
486	0.681	4.707	0.599
487	0.683	4.707	0.599
488	0.684	4.707	0.599
489	0.685	4.707	0.599
490	0.687	4.707	0.599
491	0.688	4.707	0.599
492	0.69	4.707	0.599
493	0.691	4.707	0.599
494	0.692	4.707	0.599
495	0.693	4.707	0.599
496	0.695	4.707	0.599
497	0.696	4.707	0.599
498	0.698	4.707	0.599
499	0.699	4.707	0.599
500	0.701	4.707	0.599
501	0.702	4.707	0.599
502	0.704	4.707	0.599
503	0.705	4.707	0.599
504	0.707	4.707	0.599
505	0.708	4.707	0.599
506	0.709	4.707	0.599
507	0.711	4.707	0.599

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

508	0.712	4.316	0.549
509	0.714	4.315	0.549
510	0.715	4.315	0.549
511	0.716	4.315	0.549
512	0.718	4.315	0.549
513	0.719	4.315	0.549
514	0.721	4.315	0.549
515	0.722	4.315	0.549
516	0.723	4.315	0.549
517	0.725	4.315	0.549
518	0.726	4.315	0.549
519	0.728	4.315	0.549
520	0.729	4.315	0.549
521	0.73	4.315	0.549
522	0.732	3.923	0.499
523	0.733	4.315	0.549
524	0.734	4.315	0.549
525	0.736	3.923	0.499
526	0.737	4.315	0.549
527	0.739	3.923	0.499
528	0.74	3.923	0.499
529	0.741	3.923	0.499
530	0.743	3.923	0.499
531	0.744	3.923	0.499
532	0.746	3.923	0.499
533	0.747	3.923	0.499
534	0.748	3.923	0.499
535	0.75	3.923	0.499
536	0.751	3.923	0.499
537	0.753	3.923	0.499
538	0.754	3.923	0.499
539	0.755	3.923	0.499
540	0.757	3.923	0.499
541	0.758	3.923	0.499
542	0.76	3.923	0.499
543	0.761	3.923	0.499
544	0.762	3.923	0.499
545	0.764	3.923	0.499
546	0.765	3.923	0.499

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 2**

547	0.767	3.923	0.499
548	0.768	3.923	0.499
549	0.77	3.923	0.499
550	0.771	3.923	0.499
551	0.772	3.531	0.45
552	0.774	3.53	0.449
553	0.775	3.923	0.499
554	0.777	3.531	0.45
555	0.778	3.53	0.449
556	0.779	3.53	0.449
557	0.781	3.53	0.449
558	0.782	3.53	0.449
559	0.784	3.53	0.449
560	0.785	3.53	0.449
561	0.786	3.53	0.449
562	0.788	3.53	0.449
563	0.789	3.53	0.449
564	0.791	3.53	0.449
565	0.792	3.53	0.449
566	0.793	3.53	0.449
567	0.795	3.53	0.449
568	0.796	3.53	0.449
569	0.798	3.53	0.449
570	0.799	3.53	0.449
571	0.801	3.53	0.449
572	0.802	3.53	0.449
573	0.803	3.53	0.449

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

No.	Time( min)	Force( N)	Tensión (Mpa)
1	0	0	0
2	0.003	-0.391	-0.05
3	0.008	0	0
4	0.009	0	0
5	0.011	0	0
6	0.012	0	0
7	0.014	0	0
8	0.015	0	0
9	0.016	0	0
10	0.018	0	0
11	0.019	0	0
12	0.02	-0.392	-0.05
13	0.022	0	0
14	0.023	0	0
15	0.025	0	0
16	0.026	-0.392	-0.05
17	0.027	0.001	0
18	0.029	0	0
19	0.03	0	0
20	0.032	0	0
21	0.033	0	0
22	0.034	0	0
23	0.036	0	0
24	0.037	0	0
25	0.038	0	0
26	0.04	0	0
27	0.041	0	0
28	0.043	0	0
29	0.044	0	0
30	0.045	0	0
31	0.047	0	0
32	0.048	0	0
33	0.05	0	0
34	0.051	0	0
35	0.052	0	0
36	0.054	0	0
37	0.055	0	0
38	0.057	0	0

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

39	0.058	0	0
40	0.059	0.393	0.05
41	0.061	0.392	0.05
42	0.062	0.392	0.05
43	0.064	0.392	0.05
44	0.065	0.392	0.05
45	0.066	0.392	0.05
46	0.068	0.392	0.05
47	0.069	0.785	0.1
48	0.071	0.785	0.1
49	0.072	0.785	0.1
50	0.073	0.785	0.1
51	0.075	0.785	0.1
52	0.076	0.785	0.1
53	0.077	0.785	0.1
54	0.079	0.785	0.1
55	0.08	0.785	0.1
56	0.082	1.178	0.15
57	0.083	1.177	0.15
58	0.085	1.177	0.15
59	0.086	1.177	0.15
60	0.087	1.177	0.15
61	0.089	1.177	0.15
62	0.09	1.569	0.2
63	0.092	1.569	0.2
64	0.093	1.569	0.2
65	0.095	1.569	0.2
66	0.096	1.569	0.2
67	0.097	1.569	0.2
68	0.099	1.569	0.2
69	0.1	1.962	0.25
70	0.102	1.961	0.25
71	0.103	1.961	0.25
72	0.105	1.961	0.25
73	0.106	2.354	0.3
74	0.108	2.354	0.3
75	0.109	2.354	0.3
76	0.111	2.354	0.3
77	0.112	2.354	0.3

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

78	0.114	2.354	0.3
79	0.115	2.354	0.3
80	0.116	2.746	0.35
81	0.118	2.746	0.35
82	0.119	2.746	0.35
83	0.121	2.746	0.35
84	0.122	2.746	0.35
85	0.123	2.746	0.35
86	0.125	2.746	0.35
87	0.126	2.746	0.35
88	0.128	2.746	0.35
89	0.129	3.139	0.4
90	0.131	3.138	0.4
91	0.132	3.138	0.4
92	0.134	3.138	0.4
93	0.135	3.138	0.4
94	0.136	3.138	0.4
95	0.138	3.531	0.45
96	0.14	3.53	0.449
97	0.141	3.53	0.449
98	0.143	3.53	0.449
99	0.144	3.53	0.449
100	0.145	3.53	0.449
101	0.147	3.53	0.449
102	0.148	3.53	0.449
103	0.15	3.923	0.499
104	0.151	3.923	0.499
105	0.152	3.923	0.499
106	0.154	3.923	0.499
107	0.155	3.923	0.499
108	0.157	3.923	0.499
109	0.158	4.315	0.549
110	0.16	3.924	0.5
111	0.161	4.315	0.549
112	0.162	4.315	0.549
113	0.164	4.315	0.549
114	0.165	4.315	0.549
115	0.166	4.315	0.549
116	0.168	4.315	0.549

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

117	0.169	4.315	0.549
118	0.17	4.315	0.549
119	0.172	4.707	0.599
120	0.173	4.707	0.599
121	0.175	4.707	0.599
122	0.176	4.707	0.599
123	0.177	4.707	0.599
124	0.179	4.707	0.599
125	0.18	4.707	0.599
126	0.182	4.707	0.599
127	0.183	5.1	0.649
128	0.185	5.099	0.649
129	0.186	5.099	0.649
130	0.187	5.099	0.649
131	0.189	5.099	0.649
132	0.19	5.099	0.649
133	0.191	5.099	0.649
134	0.193	5.099	0.649
135	0.194	5.099	0.649
136	0.195	5.099	0.649
137	0.197	5.099	0.649
138	0.198	5.099	0.649
139	0.199	5.492	0.699
140	0.201	5.492	0.699
141	0.203	5.492	0.699
142	0.204	5.492	0.699
143	0.205	5.492	0.699
144	0.207	5.492	0.699
145	0.208	5.492	0.699
146	0.209	5.492	0.699
147	0.211	5.492	0.699
148	0.212	5.492	0.699
149	0.214	5.492	0.699
150	0.215	5.492	0.699
151	0.216	5.492	0.699
152	0.218	5.492	0.699
153	0.219	5.492	0.699
154	0.22	5.884	0.749
155	0.222	5.884	0.749

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

156	0.223	5.884	0.749
157	0.225	5.884	0.749
158	0.226	5.884	0.749
159	0.227	5.884	0.749
160	0.229	5.884	0.749
161	0.23	5.884	0.749
162	0.232	5.884	0.749
163	0.233	5.884	0.749
164	0.234	5.884	0.749
165	0.236	5.884	0.749
166	0.237	5.884	0.749
167	0.239	6.277	0.799
168	0.24	6.276	0.799
169	0.241	6.276	0.799
170	0.243	6.276	0.799
171	0.244	6.276	0.799
172	0.245	6.276	0.799
173	0.247	6.276	0.799
174	0.248	6.276	0.799
175	0.25	6.276	0.799
176	0.251	6.276	0.799
177	0.252	6.276	0.799
178	0.254	6.276	0.799
179	0.255	6.276	0.799
180	0.257	6.276	0.799
181	0.258	6.276	0.799
182	0.259	6.276	0.799
183	0.261	6.276	0.799
184	0.262	6.276	0.799
185	0.264	6.276	0.799
186	0.265	6.276	0.799
187	0.266	6.669	0.849
188	0.268	6.669	0.849
189	0.269	6.669	0.849
190	0.27	6.669	0.849
191	0.272	6.669	0.849
192	0.273	6.669	0.849
193	0.274	6.669	0.849
194	0.276	6.669	0.849

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

195	0.277	6.669	0.849
196	0.279	6.669	0.849
197	0.28	6.669	0.849
198	0.282	6.669	0.849
199	0.283	6.669	0.849
200	0.284	6.669	0.849
201	0.286	6.669	0.849
202	0.287	6.669	0.849
203	0.289	6.669	0.849
204	0.29	6.669	0.849
205	0.291	6.669	0.849
206	0.293	6.669	0.849
207	0.294	6.669	0.849
208	0.295	6.669	0.849
209	0.297	7.062	0.899
210	0.298	7.061	0.899
211	0.3	7.061	0.899
212	0.301	7.061	0.899
213	0.303	7.061	0.899
214	0.304	7.061	0.899
215	0.306	7.061	0.899
216	0.307	6.669	0.849
217	0.309	6.669	0.849
218	0.31	6.669	0.849
219	0.311	7.062	0.899
220	0.313	6.669	0.849
221	0.314	7.062	0.899
222	0.316	7.061	0.899
223	0.317	7.061	0.899
224	0.318	7.061	0.899
225	0.32	7.061	0.899
226	0.321	7.061	0.899
227	0.322	7.061	0.899
228	0.324	6.669	0.849
229	0.325	6.669	0.849
230	0.327	7.062	0.899
231	0.328	7.061	0.899
232	0.329	7.061	0.899
233	0.331	7.061	0.899

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

234	0.332	7.061	0.899
235	0.334	7.061	0.899
236	0.335	6.669	0.849
237	0.336	7.061	0.899
238	0.338	7.061	0.899
239	0.339	7.061	0.899
240	0.341	7.061	0.899
241	0.342	7.061	0.899
242	0.343	7.061	0.899
243	0.345	7.061	0.899
244	0.346	7.061	0.899
245	0.348	7.061	0.899
246	0.349	7.061	0.899
247	0.35	7.061	0.899
248	0.352	7.061	0.899
249	0.353	7.061	0.899
250	0.354	7.061	0.899
251	0.356	7.061	0.899
252	0.357	7.061	0.899
253	0.359	7.061	0.899
254	0.36	7.061	0.899
255	0.361	7.061	0.899
256	0.363	7.061	0.899
257	0.364	7.061	0.899
258	0.366	7.061	0.899
259	0.367	7.061	0.899
260	0.368	7.061	0.899
261	0.37	7.061	0.899
262	0.371	7.061	0.899
263	0.373	7.061	0.899
264	0.374	7.061	0.899
265	0.376	7.061	0.899
266	0.377	7.061	0.899
267	0.378	7.061	0.899
268	0.379	7.061	0.899
269	0.381	7.061	0.899
270	0.382	7.061	0.899
271	0.384	7.061	0.899
272	0.385	7.061	0.899

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

273	0.386	7.061	0.899
274	0.388	7.061	0.899
275	0.389	7.061	0.899
276	0.391	7.061	0.899
277	0.392	7.061	0.899
278	0.393	7.061	0.899
279	0.395	7.061	0.899
280	0.396	7.061	0.899
281	0.397	7.061	0.899
282	0.399	7.061	0.899
283	0.4	7.061	0.899
284	0.402	7.061	0.899
285	0.403	7.061	0.899
286	0.405	7.061	0.899
287	0.406	7.061	0.899
288	0.407	7.061	0.899
289	0.409	7.061	0.899
290	0.41	7.061	0.899
291	0.412	7.061	0.899
292	0.413	7.061	0.899
293	0.414	7.061	0.899
294	0.416	7.061	0.899
295	0.417	7.061	0.899
296	0.418	7.061	0.899
297	0.42	7.061	0.899
298	0.421	7.061	0.899
299	0.423	7.061	0.899
300	0.424	7.061	0.899
301	0.426	7.061	0.899
302	0.427	7.061	0.899
303	0.428	7.061	0.899
304	0.43	7.061	0.899
305	0.431	7.061	0.899
306	0.432	7.061	0.899
307	0.434	7.061	0.899
308	0.435	7.061	0.899
309	0.437	7.061	0.899
310	0.438	7.061	0.899
311	0.439	6.669	0.849

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

312	0.441	6.669	0.849
313	0.442	6.669	0.849
314	0.443	6.669	0.849
315	0.445	6.669	0.849
316	0.446	6.669	0.849
317	0.448	6.669	0.849
318	0.449	6.669	0.849
319	0.45	6.669	0.849
320	0.452	6.669	0.849
321	0.453	6.669	0.849
322	0.454	6.669	0.849
323	0.456	6.669	0.849
324	0.457	6.669	0.849
325	0.459	6.669	0.849
326	0.46	6.669	0.849
327	0.462	6.669	0.849
328	0.463	6.669	0.849
329	0.464	6.669	0.849
330	0.466	6.669	0.849
331	0.467	6.669	0.849
332	0.468	6.669	0.849
333	0.47	6.669	0.849
334	0.471	6.669	0.849
335	0.473	6.276	0.799
336	0.474	6.276	0.799
337	0.476	6.276	0.799
338	0.477	6.276	0.799
339	0.478	6.276	0.799
340	0.48	6.276	0.799
341	0.481	6.276	0.799
342	0.483	5.884	0.749
343	0.484	6.277	0.799
344	0.485	6.276	0.799
345	0.487	6.276	0.799
346	0.488	6.276	0.799
347	0.49	6.276	0.799
348	0.491	6.276	0.799
349	0.493	5.884	0.749
350	0.494	5.884	0.749

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

351	0.495	5.884	0.749
352	0.497	5.884	0.749
353	0.498	5.884	0.749
354	0.5	5.884	0.749
355	0.501	5.884	0.749
356	0.503	5.884	0.749
357	0.504	5.884	0.749
358	0.505	5.884	0.749
359	0.507	5.884	0.749
360	0.508	5.884	0.749
361	0.51	5.884	0.749
362	0.511	5.884	0.749
363	0.512	5.884	0.749
364	0.514	5.884	0.749
365	0.515	5.884	0.749
366	0.517	5.492	0.699
367	0.518	5.884	0.749
368	0.52	5.884	0.749
369	0.521	5.884	0.749
370	0.522	5.492	0.699
371	0.524	5.492	0.699
372	0.525	5.492	0.699
373	0.527	5.492	0.699
374	0.528	5.492	0.699
375	0.529	5.492	0.699
376	0.531	5.492	0.699
377	0.532	5.492	0.699
378	0.534	5.492	0.699
379	0.535	5.492	0.699
380	0.536	5.492	0.699
381	0.538	5.492	0.699
382	0.539	5.492	0.699
383	0.541	5.492	0.699
384	0.542	5.492	0.699
385	0.543	5.492	0.699
386	0.545	5.492	0.699
387	0.546	5.492	0.699
388	0.547	5.492	0.699
389	0.549	5.492	0.699

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

390	0.55	5.492	0.699
391	0.552	5.492	0.699
392	0.553	5.1	0.649
393	0.554	5.099	0.649
394	0.556	5.099	0.649
395	0.557	5.099	0.649
396	0.559	5.099	0.649
397	0.56	5.099	0.649
398	0.561	5.099	0.649
399	0.563	5.099	0.649
400	0.564	5.099	0.649
401	0.566	5.099	0.649
402	0.567	5.099	0.649
403	0.568	5.099	0.649
404	0.57	5.099	0.649
405	0.571	5.099	0.649
406	0.573	5.099	0.649
407	0.574	5.099	0.649
408	0.576	5.099	0.649
409	0.577	5.099	0.649
410	0.578	5.099	0.649
411	0.579	4.708	0.599
412	0.581	4.707	0.599
413	0.582	4.707	0.599
414	0.584	4.707	0.599
415	0.585	4.707	0.599
416	0.587	5.1	0.649
417	0.588	4.708	0.599
418	0.589	4.707	0.599
419	0.591	4.707	0.599
420	0.592	5.1	0.649
421	0.593	5.099	0.649
422	0.595	4.708	0.599
423	0.596	5.1	0.649
424	0.598	4.708	0.599
425	0.599	4.707	0.599
426	0.601	4.707	0.599
427	0.602	4.707	0.599
428	0.604	4.707	0.599

**Resultados obtenidos de ensayo de flexión- Prueba 3**

429	0.605	4.707	0.599
430	0.606	4.707	0.599
431	0.608	4.707	0.599
432	0.609	4.707	0.599
433	0.611	4.707	0.599
434	0.612	4.707	0.599
435	0.614	4.707	0.599
436	0.615	4.707	0.599
437	0.616	4.316	0.549
438	0.618	4.315	0.549
439	0.619	4.315	0.549
440	0.62	4.315	0.549
441	0.622	4.315	0.549
442	0.623	4.315	0.549
443	0.625	4.315	0.549
444	0.626	4.315	0.549



## ANEXO 3

### Preparación de soluciones

#### A. Solución de sulfuro de sodio 0.5 M

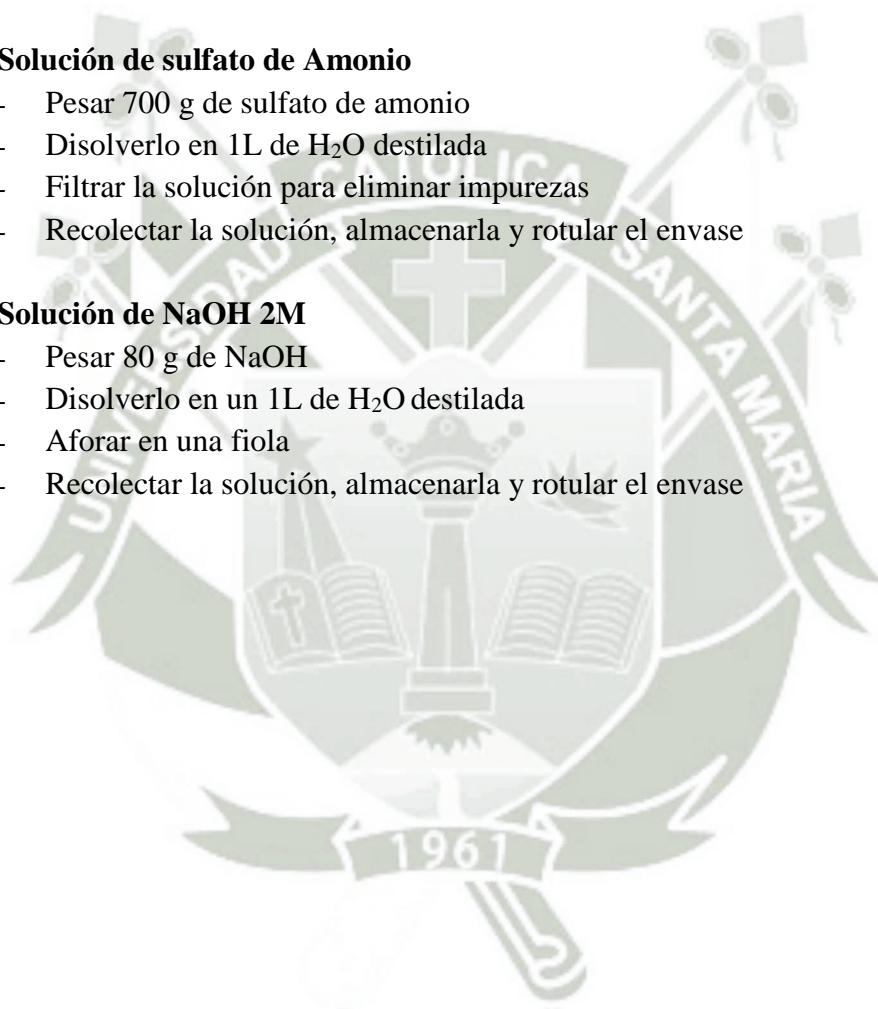
- Pesar 120.09 g de  $\text{Na}_2\text{S}$
- Disolverlo en un matraz de 1L con  $\text{H}_2\text{O}$  destilada
- Aforar en una fiola de 1L
- Recolectar la solución, almacenarla y rotular el envase

#### B. Solución de sulfato de Amonio

- Pesar 700 g de sulfato de amonio
- Disolverlo en 1L de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada
- Filtrar la solución para eliminar impurezas
- Recolectar la solución, almacenarla y rotular el envase

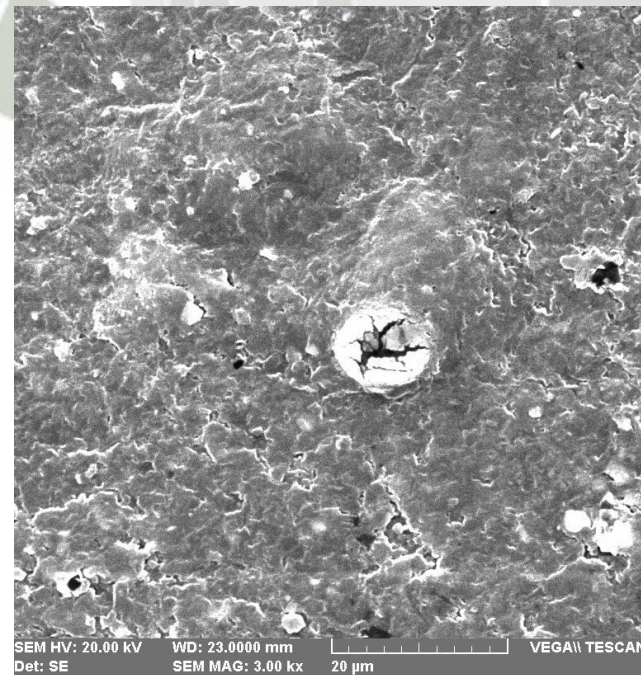
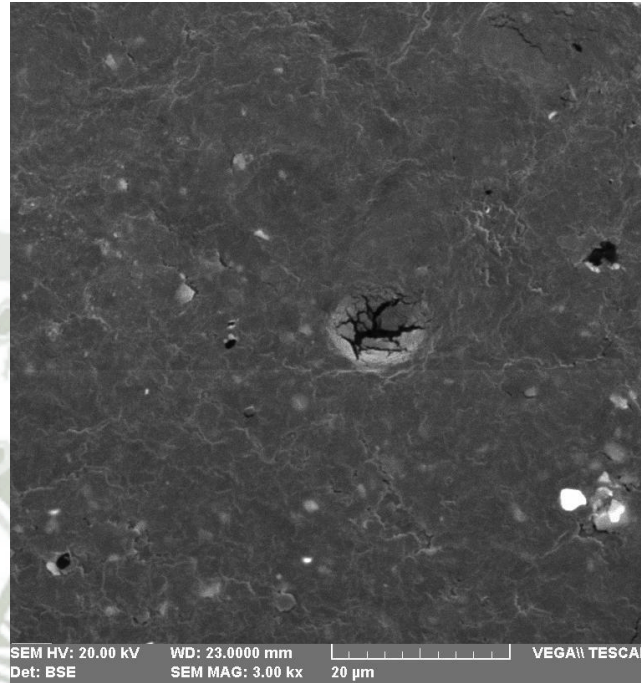
#### C. Solución de NaOH 2M

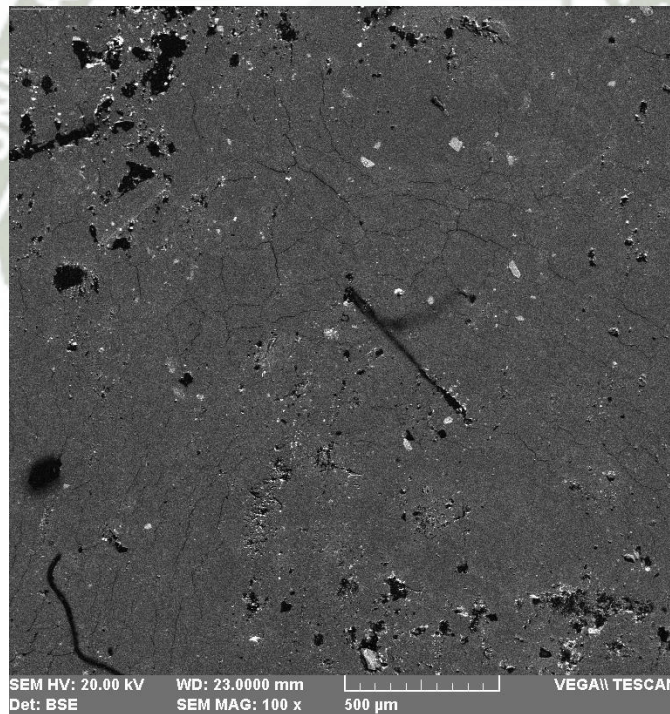
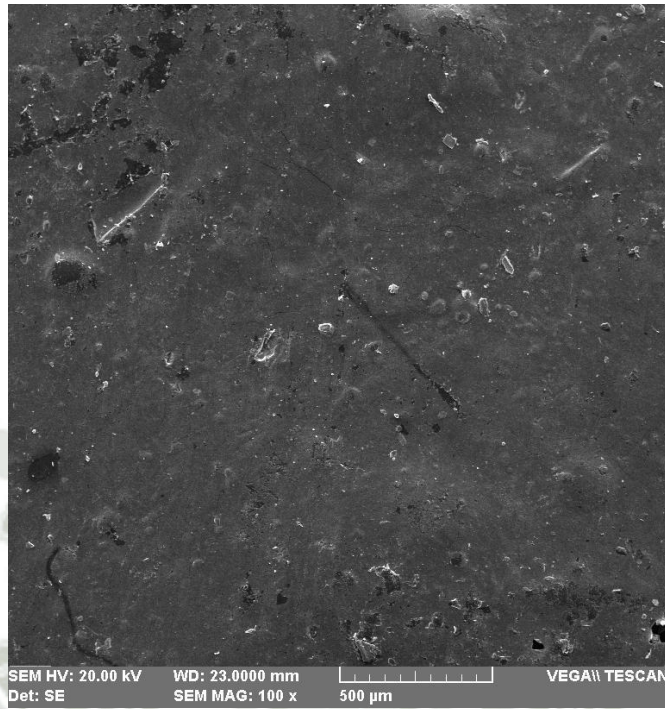
- Pesar 80 g de NaOH
- Disolverlo en un 1L de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada
- Aforar en una fiola
- Recolectar la solución, almacenarla y rotular el envase

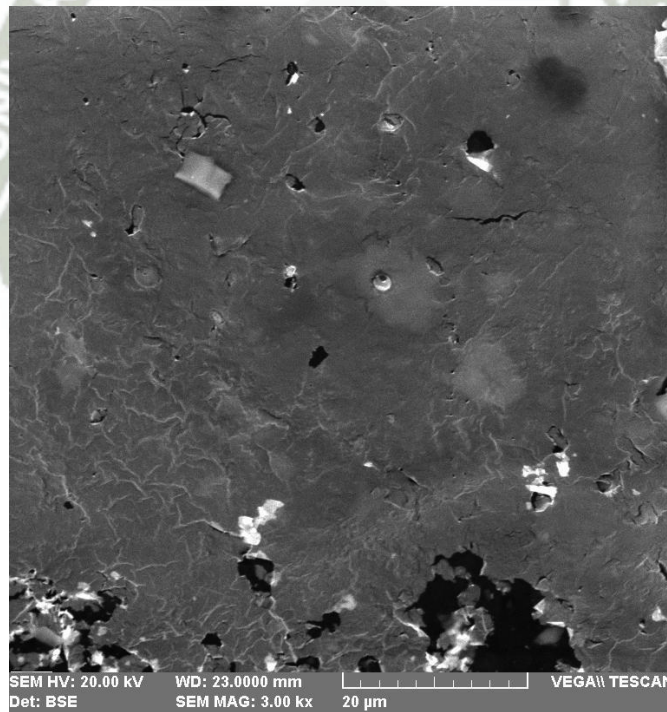
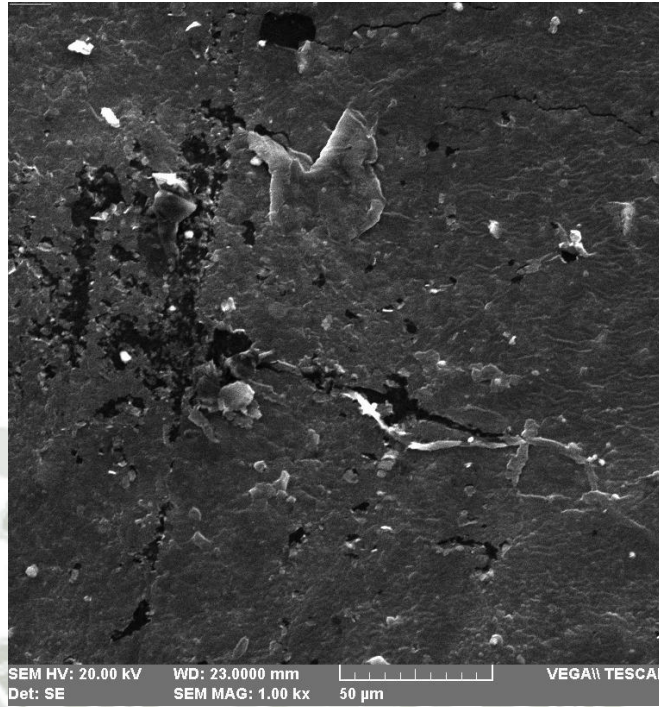


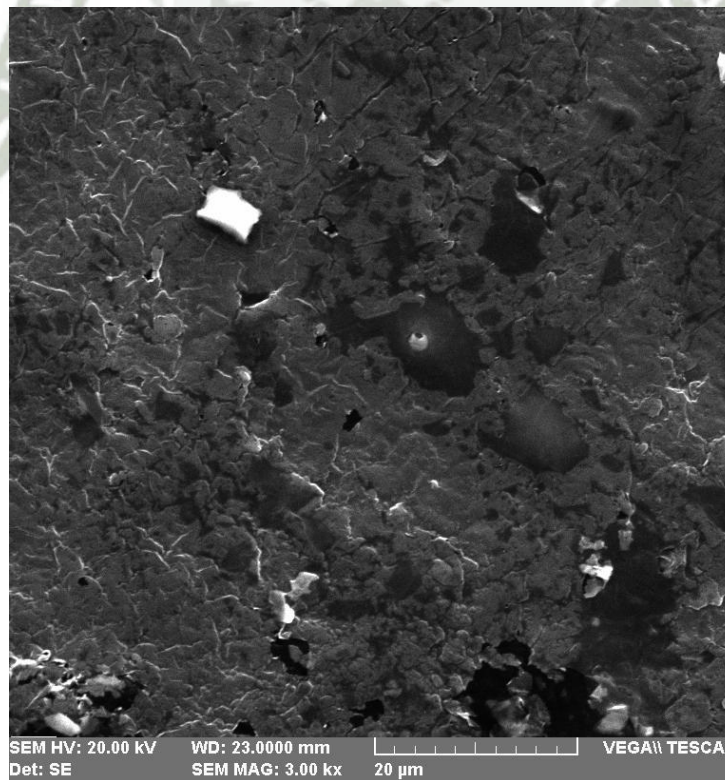
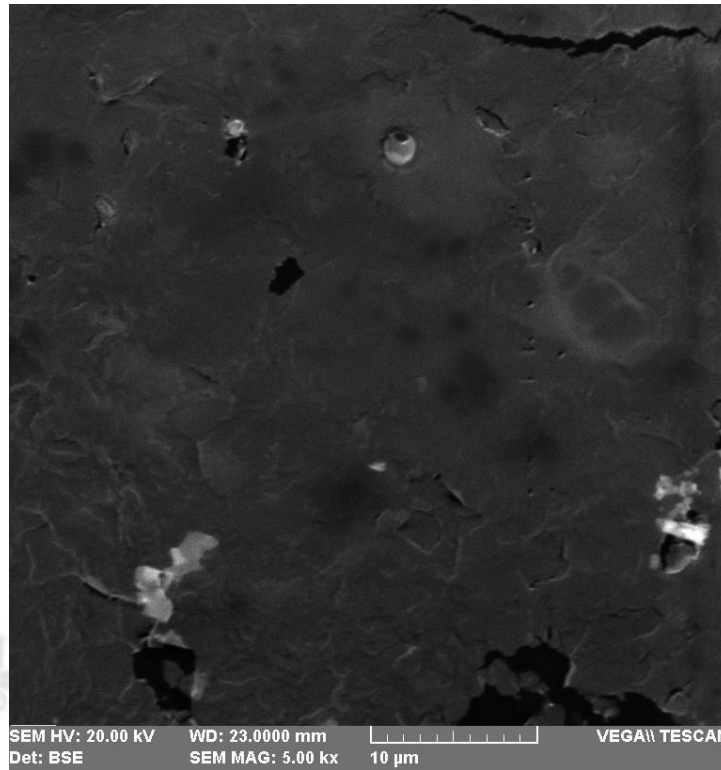
## ANEXO 4

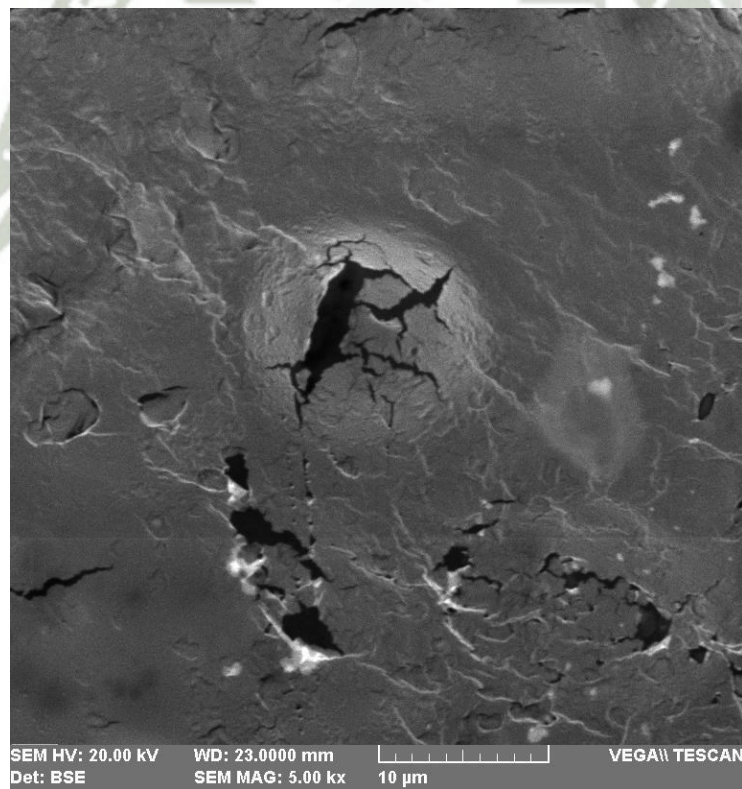
### REGISTRO FOTOGRÁFICO











ANEXO 5

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (%)



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 f. Apdo. 1350  
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO  
Nº DE INFORME: ANA17E17.002715

Nombre del Cliente : José Llerena Gonzales  
Dirección del Cliente : Jirón Ayacucho A7 Cerro Colorado  
RUC : No corresponde  
Condición del Muestreo : Por el cliente  
Descripción : Queratina en Solución  
Tamaño de muestra : 10 mL  
Fecha de Recepción : 17/05/2017  
Fecha de Inicio del Ensayo : 17/05/2017  
Fecha de Emisión de Informe : 24/05/2017  
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE PROTEINAS (%) Método Kjeldahl, A.O.A.C. Official Methods of Analysis 13 th Edition, 1984.	0,76

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFDA 00624  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE  
CALIDAD LECC

