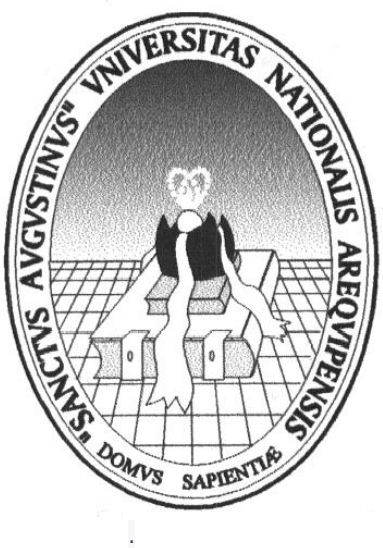
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MATERIALES



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL CONTENIDO DE ALMIDON DE CASCARA DE PLATANO

Tesis Presentada por la Bachiller:
Naldy Lizeth Bejarano Martinez
Para optar el Título Profesional de Ingeniera de Materiales

AREQUIPA-PERU
2018

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:
Principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Luis y Naldy quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Kassandra y Luis por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas y propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a la Ingeniera Korina Vera Gonzales quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación.

Agradezco a los todos docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Nacional de San Agustín

PRESENTACIÓN

Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Agustín.
Sr. Director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales.
Señores Miembros del Jurado.

Pongo a consideración de ustedes el trabajo de tesis intitulado:

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL CONTENIDO DE ALMIDON DE CASCARA DE PLATANO"

A fin de que sea evaluado de acuerdo al reglamento de grados y títulos y se me permita optar el Título Profesional de Ingeniero de Materiales.

El presente trabajo de investigación está dividido en cuatro capítulos; en el primer capítulo se plantea el problema, la hipótesis, los objetivos generales y específicos, así como la justificación; en el segundo capítulo se presenta el marco conceptual.
En el tercer capítulo se describe toda la parte experimental y los procedimientos que se realizaron para elaborar el biopolímero a partir de almidón.
En el cuarto capítulo se presentan los resultados y discusión de la parte experimental desarrollada en el capítulo III. Para finalmente cerrar el trabajo de tesis con las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos correspondientes.

Bachiller: Naldy Bejarano Martínez

INTRODUCCIÓN

Los bioplásticos son plásticos biodegradables obtenidos a partir de materias primas renovables como el almidón, debido a su disponibilidad en la naturaleza y bajo costo.

Los primeros en popularizarse fueron los bioplásticos vegetales y frutales fabricados a partir de almidón de patata, camote, maíz, mango o banana. En la actualidad, las industrias se encuentran empeñadas en traducir estas nuevas tecnologías en productos útiles, hechos a base de plásticos inofensivos para el medio ambiente. Si los bioplásticos se llegaran a utilizar a gran escala, los mismos que podrían reducir los desechos plásticos hasta en un 80%. Si todos los plásticos fueran fabricados a partir del almidón, el consumo de petróleo usado en su proceso de manufacturación caería entre 90 y 145 millones de barriles por año.

Para convertir los biopolímeros en bioplásticos se les agrega un plastificante y otros aditivos para mejorar sus propiedades. La formulación final puede consistir de uno o más biopolímeros combinados con uno o más agentes plastificantes, y uno o más aditivos.

La humedad y temperatura del lugar son condiciones importantes para determinar su tiempo de degradación, pero su tiempo aproximado es un año.

Los plásticos flexibles pueden prepararse a partir de un biopolímero como la cascara de plátano, utilizando el glicerol como agente plastificante. La cascara de plátano es procesada en medio de glicerol y alta temperatura. El glicerol aumenta el volumen libre entre las cadenas de amilasa y amilo pectina liberadas, reduciendo las interacciones entre ambas y favoreciendo el movimiento de una relación con la otra, es decir el movimiento y flexibilidad al tener el producto finalizado.

RESUMEN

Los bioplásticos constituyen en la actualidad ocupan un campo de interés creciente en sectores industriales diversos (envase, automoción, alimentación, sector eléctrico-electrónico, construcción, medicinas, textil, etc.). Este interés está íntimamente relacionado con la tendencia globalmente extendida, de sustitución de los materiales procedentes de fuentes fósiles por otros procedentes de fuentes renovables y sostenibles. Sin embargo, son precisamente las aplicaciones lo que motiva las definiciones y tipologías de bioplásticos que se conocen. Aunque existen como posible solución programas de reciclaje implementando controles sobre la cantidad de plástico que se consume diariamente, solo se realizan sobre el residuo ya generado y, además, no es una alternativa para todos los plásticos de origen petroquímico. Y es que en la actualidad se quiere recuperar y aprovechar el reciclaje de desechos orgánicos de manera creativa con el fin de elaborar plásticos artesanales para su utilización en diferentes áreas.

El presente proyecto de tiene como objetivo fundamental obtener un bioplástico a base de almidón extraído de la cáscara de plátano. Básicamente el proyecto consistió en la extracción del almidón contenido en las cáscaras de plátano, las cuales son consideradas residuos agrícolas, para utilizarlo como materia prima para la producción de bioplásticos. La extracción del almidón, se inició con el rayado del endocarpio, desechándose el exocarpio; una vez obtenido el rayado se procedió a su inmersión en una solución antipardeante (concentrado de jugo de limon). Posteriormente, se procedió a la elaboración del bioplástico, ya que gran parte de las investigaciones realizadas sobre estos biomateriales, en los últimos años, se han concentrado en reducir costos de producción y aumentar la productividad utilizando diversas estrategias.

Por este motivo se realizaron ensayos de tracción a cada una de las formulaciones realizadas, los cuales determinaron las mejores propiedades mecánicas que resultaron ser la de mayor y menor cantidad de almidón presente en la mezcla.

Palabra Clave: Almidon, Propiedades Mecanicas, Biopolimero

ABSTRACT

The bioplastics are currently occupy a field of growing interest in various industrial sectors (packaging, automotive, food, electric-electronic sector, construction, medicine, textiles, etc.). This interest is closely related to the globally widespread trend of replacing materials from fossil sources with others from renewable and sustainable sources. However, it is precisely the applications that motivate the definitions and typologies of bioplastics that are known. Although there is a possible solution for recycling programs implementing controls on the amount of plastic consumed daily, they are only made on the waste already generated and, moreover, it is not an alternative for all plastics of petrochemical origin. And it is that nowadays it is wanted to recover and take advantage of the recycling of organic waste in a creative way in order to elaborate handmade plastics for its use in different areas.

The main objective of this project is to obtain a bioplastic based on starch extracted from the banana peel. Basically the project consisted in the extraction of the starch contained in the banana peels, which are considered agricultural waste, to be used as raw material for the production of bioplastics. The extraction of the starch started with the endocarp scratching, discarding the exocarp; Once the scratching was obtained, it was immersed in an antiparasitic solution (lemon juice concentrate). Subsequently, the bioplastic was prepared, since much of the research carried out on these biomaterials, in recent years, has focused on reducing production costs and increasing productivity using various strategies.

For this reason, tensile tests were carried out on each of the formulations carried out, which determined the best mechanical properties that turned out to be that of the highest and lowest amount of starch present in the mixture.

KEY WORD: STARCH, MECHANICAL PROPERTIES, BIOPOLYMER

MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Marcelo Rodríguez Valdivia

Dr. Hugo Canahua Loza

Ing. Derlis Gonzales Salas

INDICE

CAPÍTULO I
ASPECTOS GENERALES
1.1 ANTECEDENTES……..1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……1
1.3 HIPÓTESIS…….……2
1.4 OBJETIVOS……2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL……...2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS……...2
1.5 JUSTIFICACIÓN……2
CAPÍTULO II
MARCO CONCEPTUAL
2.1 POLÍMEROS ……..…4
2. 1.1 HISTORIA DE LOS POLÍMEROS……4
2.1.2 DEFINICIÓN DE POLÍMEROS. ……...5
2.1.3 POLIMERIZACIÓN……5
2.1.4. TIPOS DE POLIMERIZACIÓN…….5
2.1.4.1 POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN. ……..5
2.1.4.2. POLIMERIZACIÓN POR ADICIÓN. ……5
2.1.5 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS……..6
2.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR POLÍMEROS……..6
2.3 BIOPOLÍMEROS……8
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE BIOPLÁSTICO……..9
2.3.2 VENTAJAS DE LOS BIOPOLÍMEROS……...10
2.3.3 METODOLOGÍAS PARA ELABORAR BIOPLÁSTICOS…….12
2.3.4 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS EN EL PERÚ…….13
2.4 ALMIDÓN……15
2.4.1 PROCESO DE GELATINIZACIÓN……17
2.4.3 PROCESO DE DESESTRUCTURACIÓN……...18
2.5 COMPONENTES PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS……18
2.5.1 PLASTIFICANTES……18
2.5.2 MODIFICADORES QUÍMICOS……...19
2.6 PLÁTANO…….20
2.6.1 CÁSCARA DE PLÁTANO…….……..……20

2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS ……..21
2.7.1 ENSAYO DE TRACCIÓN EN PLASTICOS……21
CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL
3.1 MATERIALES Y EQUIPOS. ……..24
3.1.1 PLATANO…….…….24
3.1.2 LIMON……...24
3.1.3 GLICERINA……..24
3.1.4 ACIDO ACETICO…….24
3.1.5 AGUA DESTILADA…….....24
3.1.6 ESTUFA…….24
3.1.7 BALANZA…….24
3.1.8 MATRIZ PARA PROBETAS. …….24
2.1.9 MAQUINA DE ENSAYO DE TRACCION…….25
3.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES. ……..26
3.3 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS. ……27
3.3.1 EXTRACCIÓN DEL ENDOCARPIO……..28
3.3.2 REPOSO…….....29
3.3.2.1 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO DEL BANANO……29
3.3.3 SECADO……30
3.3.4 MOLIENDA……...31
3.3.5 MEZCLADO……...……...32
3.3.5.1 GELATINIZACIÓN …….....32
3.3.5.2 RETROGRADACIÓN……33
3.3.6 SECADO……34
3.3.8 BIOPLASTICO……..35
3.3.9 ENSAYOS DE TRACCIÓN……..36
CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN
4.1 DESARROLLO DE LAS FORMULAS DEL BIPOLIMERO ……36
4.2 CURVAS DEL ENSAYO DE TRACCION DE LAS PROBETAS…….38
4.2.1 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 12%…….40
4.2.2 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 15%…….45
4.2.3 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 19%…….51

4.2.4 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 22%…….57
4.2.5 CUADROS RESUMEN…….63
4.2.5.1 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 12%.....63
4.2.5.2 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 15%.....64
4.2.5.3 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 19%.....65
4.2.5.4 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 22%.....66
4.2 ANÁLISIS DE LAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN EN COMPARACIÓN CON EL PORCENTAJE DE ALMIDÓN. ……..67
4.3 RELACION DEL PROCENTAJE DE ALMIDON CON SU DENSIDAD…….....71
4.4 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL BIOPOLIMERO CON OTROS POLIMERO..……...72
4.4.1 PoliPropileno. …….....72
4.4.1.2 Propiedades Mecánicas de PoliPropileno ……..……72
4.4.2 PoliEtileno…….....73
4.4.2.2 Propiedades Mecánicas de PoliEtileno……73
4.4.3 OTROS BIOPOLÍMEROS…….75
4.5 PRUEBA DE ESPECTROSCOPIA INFRAROJA……...75

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS BIOPLÁSTICO…….....….9
FIGURA 2.2: CURVAS TENSIÓN-DEFORMACIÓN REPRESENTATIVAS DE LAS PELÍCULAS DE ALMIDÓN OBTENIDOS A PARTIR DE (A) PATATA, (B) CAMOTE, (C) LA YUCA Y (D) DE MAÍZ.…….……..15
FIGURA 2.3: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA AMILOSA……..16
FIGURA 2.4: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA AMILOPECTINA……..…….16
FIGURA 2.5: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA GLICERINA…….……..19
FIGURA 2.5. PROCESO DE DEFORMACIÓN…….23
FIGURA 3.1: MATRIZ DE PROBETAS……..……..25
FIGURA 3.2: MAQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN DE 2 TONELADAS DE CARGA MÁXIMA…….26
FIGURA 3.3: ENDOCARPIO DE PLÁTANO…….……..28
FIGURA 3.4: REPOSO DE ENDOCARPIO EN LIMÓN……..29
FIGURA 3.5: SECADO DEL ENDOCARPIO…….....30
FIGURA 3.6: PROCESO DE SECADO…….…….30
FIGURA 3.7: MOLIENDA DE ALMIDÓN SECO…….31
FIGURA 3.8: TAMIZADO DEL ALMIDÓN……..……...32
FIGURA 3.9: PROCESO DE RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN……..……...34
FIGURA 3.10: SECADO DE MUESTRA DEL BIOPOLÍMERO…….34
FIGURA 3.11: EXTRACCIÓN DE MUESTRA DEL BIOPOLÍMERO…….....35
FIGURA 3.12: 4 MUESTRAS DE BIOPOLÍMEROS……35
FIGURA 3.13: TRACCIÓN DE PROBETAS…….....36
FIGURA 4.1: MUESTRA CUARTEADA POR LA SOBRESATURACIÓN DEL ALMIDÓN……..38
FIGURA 4.2: ENSAYO DE TRACCIÓN EN LAS MUESTRAS…….....39
FIGURA 4.3: PROBETAS LUEGO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN……..39
FIGURA 4.4: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 1…….…40
FIGURA 4.5: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 1…….40
FIGURA 4.6: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 2…….41

FIGURA 4.7: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 2…….42
FIGURA 4.8: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 3…….43
FIGURA 4.9: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 3……44
FIGURA 4.10: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 1……..…..45
FIGURA 4.11: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 1……46
FIGURA 4.12: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 2……47
FIGURA 4.13: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 2……48
FIGURA 4.14: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 3……49
FIGURA 4.15: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 3……50
FIGURA 4.16: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 1……51
FIGURA 4.17: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 1……52
FIGURA 4.18: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 2……..…..53
FIGURA 4.19: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 2…….54
FIGURA 4.20: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 3……55
FIGURA 4.21: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 3……56
FIGURA 4.22: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 1…….57
FIGURA 4.23: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 1……58

FIGURA 4.24: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 2…….……59
FIGURA 4.25: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 2…….60
FIGURA 4.26: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 3……61
FIGURA 4.27: CURVA CARGA VS ELONGACIÓN DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 3……62
FIGURA 4.28: ESFUERZO MÁXIMO VS CONTENIDO DE ALMIDÓN…….……..67
FIGURA 4.29: ESFUERZO DE ROTURA VS CONTENIDO DE ALMIDÓN……....68
FIGURA 4.30: RESILIENCIA VS CONTENIDO DE ALMIDÓN……..……..69
FIGURA 4.31: ELONGACIÓN VS CONTENIDO DE ALMIDÓN……..….70
FIGURA 4.32: ESFUERZO MÁXIMO VS CONTENIDO DE ALMIDÓN……..71
FIGURA 4.33: DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MEDIANTE DESPLAZAMIENTO DE AGUA MEDIANTE LA INMERSIÓN DE LA PROBETA……...71
FIGURA 4.34: DENSIDAD VS POLIMEROS……..……....…73
FIGURA 4.35: ELONGACIÓN VS POLIMEROS …….…….…….74
FIGURA 4.36: MÓDULO DE YOUNG VS POLÍMEROS …….…….….74
FIGURA 4.37: ESFUERZO MÁXIMO DE DIFERENTES COMPOSICIONES DE UN BIOPOLÍMERO A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA……...75
FIGURA 4.38: ESPECTROS INFRARROJOS DE UNA MUESTRA DE BIOPOLÍMERO CON 12% DE CONTENIDO DE ALMIDÓN……76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: COMPARACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO Y UN PLÁSTICO……12
TABLA 2.2: CULTIVOS ANDINOS……...……...13
TABLA 3.1: VARIABLES…….....…..26
TABLA 4.1: FORMULA 1……...…37
TABLA 4.2: FORMULA 2……...…37
TABLA 4.3: FORMULA 3…….……..…38
TABLA 4.4: FORMULA 4……...…38
TABLA 4.5: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 1……..41
TABLA 4.6: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 2……..42
TABLA 4.7: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12% - REPLICA 3……44
TABLA 4.8: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 1……46
TABLA 4.9: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 2…….48
TABLA 4.10: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15% - REPLICA 3…….50
TABLA 4.11: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 1…….52
TABLA 4.12: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 2…….54
TABLA 4.13: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19% - REPLICA 3……56
TABLA 4.14: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 1…….58
TABLA 4.15: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 2……60
TABLA 4.16: INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22% - REPLICA 3…….62

TABLA 4.17: RESUMEN INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12%.....63
TABLA 4.18: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 12%.....63
TABLA 4.19: RESUMEN INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15%.....64
TABLA 4.20: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 15%.....64
TABLA 4.21: RESUMEN INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19%.....65
TABLA 4.22: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 19%.....65
TABLA 4.23: RESUMEN INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS GRÁFICA DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22%.....66
TABLA 4.24: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDÓN: 22%.....66
TABLA 4.25: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO……..……72
TABLA 4.26: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIETILENO……..…….73

CAPÍTULO I
ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

La presente investigación tomo como referencia al autor María José Valarezo Ulloa, que desarrollo un biopolímero resistente, flexible y elástico a partir de la corteza de la yuca (Manihot esculenta), el cual tomo características parecidas a las de un plástico, dicha investigación utilizo como plastificante una mezcla de agua, glicerina y como modificador químico, ácido acético. Las proporciones del biopolímero fueron de 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético, presentando una densidad de 6,44 g/cm3, la temperatura óptima a la cual se desarrolló todo el proceso fue a una temperatura de 69°C. (María José Valarezo Ulloa, 2012)[1]

También se consideró a los autores Edmundo Arroyo y Hugo Alarcón quienes realizaron unos estudios acerca de la obtención, caracterización y análisis comparativo de polímeros biodegradables a partir de la yuca, papa y maíz, dicho biopolímero fue analizado por espectroscopia de absorción atómica, llegando a la conclusión que los tres biopolímeros tienen las mismas funciones químicas a nivel molecular, la caracterización por absorción atómica mostró que las películas de biopolímero obtenidas son inocuas, evitando futuros impactos ambientales por metales pesados.(Edmundo Arroyo y Hugo Alarcón, 2013)[2].

Se consideró también la investigación realizada por el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica (CITA-UCR), quienes desarrollaron un biopolímero a partir de desechos de piña y banano para fabricar bolsas plásticas, cucharas y platos. (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica (Edmundo Arroyo y Hugo Alarcón, 2013)[2].

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento excesivo del consumo de polímeros en el mundo, ha logrado generar una cantidad de desechos plásticos casi igual, debido al lento proceso de degradación de dichos polímeros, ocasionando una contaminación ambiental cada vez más severa, así

mismo agotando cada vez más las reservas de petróleo del cual son procesados los polímeros, es por ello que nace la idea de fabricar biopolímeros a base de almidón y someterlos a pruebas para determinar en qué procesos podrían reemplazar a los polímeros derivados del petróleo.

1.3 HIPÓTESIS

El aumento de concentración de almidón en la preparación de biopolímero modificara las propiedades mecánicas del mismo, para su uso en la industria

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Estudio de la Resistencia Mecánica de un biopolímero modificando la concentración de almidón extraído a partir de la cascara de plátano.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el procedimiento para la elaboración de un biopolímero a base de almidón mediante el método de polimerización y condensación
2. Estudiar el efecto del aumento de la concentración de almidón en la resistencia mecánica del biopolímero
3. Analiza y Compara

1.5 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la contaminación ambiental es un tema muy importante, dentro de esta abordaremos el campo de los plásticos, los cuales poseen aditivos tóxicos, como el potente disruptor endocrino bisfenol A, contaminan la sangre de más del 90% de la población.

Debido a este problema, nuestra investigación está orientada en obtener polímeros biodegradables con las mismas propiedades de un plástico convencional, ayudando así a disminuir la contaminación.

Uno de los tantos biopolímeros estudiados, es el almidón, por su abundancia y menor costo, ya que es una importante alternativa para la sustitución o parcial reemplazo de la producción de plásticos convencionales, así mismo teniendo en cuenta la producción de plátano en el país, es una propuesta muy atractiva tanto para la parte industrial como ambiental.

CAPÍTULO II
MARCO CONCEPTUAL

2.1 POLÍMEROS

2. 1.1 HISTORIA DE LOS POLÍMEROS

Hoy en día los científicos e investigadores se encuentran abocados en la tecnología de los polímeros, ya que se ha denominado la era de los polímeros a nuestra época. Los polímeros siempre han estado desde la Edad de Piedra hasta la actualidad, ya que los encontrábamos en la vida animal y vegetal. (Seymour et al, 2002)[4]

Las primeras civilizaciones, utilizaron caucho (Hevea Basilienses) para impermeabilizar tejidos. Los hombres primitivos emplearon técnicas para curtir las pieles de los animales para hacer cuero y para moldear caparazones de tortuga mediante calor, estas técnicas fueron desarrolladas gracias a los polímeros. (Seymour et al, 2002)[4]

En la antigua Grecia se clasificaba todo material como animal, vegetal y mineral, los alquimistas dieron mucha importancia a los minerales, mientras que los artesanos medievales se los daban a los materiales vegetales y animales, los cuales todos son en su mayoría polímeros y son importantes para la vida tal y como la conocemos (Seymour, 2002)[4]

En la historia de los polímeros, el primer polímero sintético fue desarrollado a manos de Baekeland, quien, utilizo cantidades controladas de fenol y formaldehído, produciendo resinas termoplásticas que podían ser convertidas en plásticos termoestables a los que llamó Baquelita, todo esto pude ser realizado ya que.tenía conocimientos acerca de la existencia de macromoléculas. (Seymour et al, 2002) [4]

En la Primera Guerra Mundial, ya se fabricaba al público plástico como celuloide, laca, Galalih (caseína), baquelita, acetato de celulosa, fibras como algodón, lana, seda y rayón; y resinas como los recubrimientos de poliéster. (Seymour et al, 2002) [4]

A partir de 1940, la tecnología de polímeros ha tenido un crecimiento extremadamente acelerado, actualmente es una ciencia aplicada y no empírica. (Seymour et al, 2002) [4]

2.1.2 DEFINICIÓN DE POLÍMEROS.

La palabra polímero proviene del griego Polys y Meros, que significa muchos y partes respectivamente; y estos se definen como macromoléculas compuestas por varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena. (Sperling, 2006)[6]

Actualmente la mayoría de las sustancias orgánicas son polímeros naturales como proteínas, madera, quitina, caucho, también tenemos los polímeros sintéticos como son plásticos, las fibras, los adhesivos. A pesar de la gran variedad de polímeros existentes, todos tienen una estructura interna similar y se rigen por las mismas teorías (Sperling, 2006)[6]

2.1.3 POLIMERIZACIÓN

La polimerización es la reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros. Según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización para dar lugar al polímero, esta se clasifica como polimerización por pasos o como polimerización en cadena. (Seymour et al, 2002) [6]

El tamaño de la cadena depende de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción, teniendo cada cadena un tamaño distinto y, por tanto, una masa molecular distinta, de ahí que se la llama masa promedio del polímero. (Seymour et al, 2002) [6]

2.1.4. TIPOS DE POLIMERIZACIÓN

2.1.4.1 POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN.

En cada unión de dos monómeros se pierde una molécula pequeña. Debido a esto, la masa molecular del polímero no es necesariamente un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. (Seymour et al, 2002) [6]

2.1.4.2. POLIMERIZACIÓN POR ADICIÓN.

En este tipo de polimerización la masa molecular del polímero es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. (Seymour et al, 2002) [6]

Esta polimerización se genera cuando un catalizador, inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos

monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina. (Seymour et al, 2002) [6]

Suelen seguir un mecanismo en tres fases, con ruptura homolítica:

Iniciación: $CH_2=CHCl$ + catalizador ⇒ $\bullet CH_2–CHCl\bullet$

Propagación o crecimiento: 2 $\bullet CH_2–CHCl\bullet$ ⇒$-(CH_2–CHCl–CH_2–CHCl)-$

Terminación: Los radicales libres de los extremos se unen a impurezas o bien se unen dos cadenas con un terminal neutralizado. (Seymour et al, 2002) [6]

2.1.5 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS

Los polímeros se clasifican según su estructura, composición, origen y tipo de polimerización, sin que estas clasificaciones sean excluyentes entre sí. Existen diferentes términos utilizados en la industria de polímeros que corresponden a los diferentes modos de clasificación. Es común escuchar el nombre como plásticos, resinas, elastómeros y hules. (Seymour et al, 2002) [6]

El primero se aplica a materiales comerciales que contienen aditivos que mejoran la procesabilidad y las propiedades (PE, PVC, ES, etc.), excepto fibras que tienen cierta característica de rigidez a temperatura ambiente. (Seymour et al, 2002) [6]

El segundo se utiliza para designar cualquier material polimérico puro, esto es, sin aditivos o cargas, los dos restantes se aplican a materiales que tienen flexibilidad y elasticidad a temperatura ambiente. (Seymour et al, 2002) [6]

Los polímeros se subdividen según su origen en polímeros naturales y sintéticos. Cada una de estas clases de compuestos es subdividida en otras clases más específicas en relación a sus propiedades y características físico-químicas. (Seymour et al, 2002) [6]

2.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR POLÍMEROS

El plástico es un producto que contiene un alto rango de material sintético y semisintético extremadamente maleable y moldeable hecho con polímeros de compuestos orgánicos. También contiene sustancias derivadas de productos petroquímicos. Fue inventado en Nueva York en 1907 por Leo Backeland. Su costo

de fabricación es relativamente bajo. Su proliferación es preocupante. (Salvador García Liñán,2015)[7]

Las bolsas de plástico están hechas usualmente de polietileno que deriva del gas natural y del petróleo, siendo usadas en todo el mundo desde 1961. Se estima que se fabrican al año entre 500 billones a un trillón de bolsas de plástico en el planeta. En 2009 la USITC reportó que sólo en Estados Unidos se usan anualmente 102 billones de bolsas de plástico. (Salvador García Liñán,2015) [7]

La gran desventaja es su lenta descomposición. Le lleva al poliestireno y al plástico 500 años desintegrarse, lo cual lo convierte en un producto de desecho que afecta al medio ambiente. El plástico no es reciclable. (El PET sí lo es). Tampoco es biodegradable. Es un material que ni la tierra ni el mar pueden digerir. Cada objeto de plástico que existe, siempre existirá. Al no desaparecer el plástico se va acumulando en el medio ambiente. Esa creciente acumulación durará siglos. Su efecto ya es latente. (Salvador García Liñán,2015) [7]

Existen dos estándares relacionados con el control del plástico: el ISO 15270:2008 para su desperdicio y el ISO 14001:2004 para la protección del medio ambiente. En el proceso de investigación para reciclarlo, por ahora se obtiene un producto contaminante. (Salvador García Liñán,2015) [7]

En el mundo se tiran a la basura 280 millones de toneladas de plástico al año. En Alemania se propone que en 2018 cada habitante del mundo consuma anualmente 90 bolsas de plástico. Ahora su uso implica más de cuatro mil bolsas por persona por año. (Salvador García Liñán,2015) [7]

Tratamos a los océanos como un gran bote de basura. Alrededor de 80 por ciento de la basura marina se origina en la tierra y la mayoría es plástico. Sólo en el área de Los Ángeles cada día son tiradas en el océano Pacífico diez toneladas métricas de desechos de plástico como bolsas del súper, botellas de refrescos, agua, medicinas, detergentes, alimentos, etcétera. En el mundo casi todo es plástico. (Salvador García Liñán,2015) [7]

2.3 BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. Una definición de los mismos los considera materiales poliméricos o macromoleculares sintetizados por los seres vivos. También, a raíz de nuevas disciplinas médicas como la ingeniería de tejidos, como biopolímeros también se incluyen materiales sintéticos con la particularidad de ser biocompatibles con el ser vivo (normalmente con el ser humano). (REMAR, 2011)[10]

De entre los biopolímeros los referidos a la primera clasificación, existen tres principales familias: proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos, aunque también otros más singulares como los politerpenos(sustancias termoplásticas constituidas principalmente por isómeros del pineno, que se utilizan en la fabricación de pinturas y como plastificantes del caucho); entre los que se incluye el caucho natural, los polifenoles (como la lignina) o poliésteres como los polihidroxialcanoatos (producidos en la naturaleza por bacterias al fermentar azúcar o lípidos, produciendo carbono y energía). (REMAR, 2011)[10]

Él biopolímero más abundante en la tierra es la celulosa. El almidón también es un polímero natural cuyos gránulos consisten en estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga. (REMAR, 2011)[10]

Como se puede apreciar, el campo de los biopolímeros es amplísimo, pero para efectos de la siguiente investigación se profundizará específicamente en uno de ellos, el cual es el almidón y sus propiedades: y de cómo se puede producir a partir de él, un bioplástico: (REMAR, 2011)[10]

Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente (REMAR, 2011)[10]. Según La Asociación Europea de Bioplástico (European Bioplastics), un material plástico se define como bioplástico si es de base biológica, si es biodegradable, o si tiene ambas propiedades (REMAR, 2011)[10]

2.3.1 CLASIFICACIÓN DE BIOPLÁSTICO

Según Castillo, Iñiguez, (2011) y Meré, (2009) los polímeros biodegradables se pueden clasificar a partir de su proceso de fabricación de la siguiente manera:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina, y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables. Algunos ejemplos de este grupo son: ácido poliláctico (PLA), poli-ácidos glicoles (PGA) y policaprolactonas (PCL).
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente. Este grupo engloba a: Polihidroxialcanoatos (PHA), poli-3-hidroxibutarato (PHB).
-

Sin embargo, las clasificaciones más "estrictas", clasifican los bioplástico únicamente en función de su procedencia bien sea a partir de fuentes fósiles (derivados del petróleo) o de materias primas naturales, denominándose entonces bioplástico.

En la Figura 2.1 se muestra la clasificación de los bioplástico atendiendo a su origen destacándose con un círculo aquellos que tienen una mayor relevancia a nivel comercial (REMAR, 2011)[10]

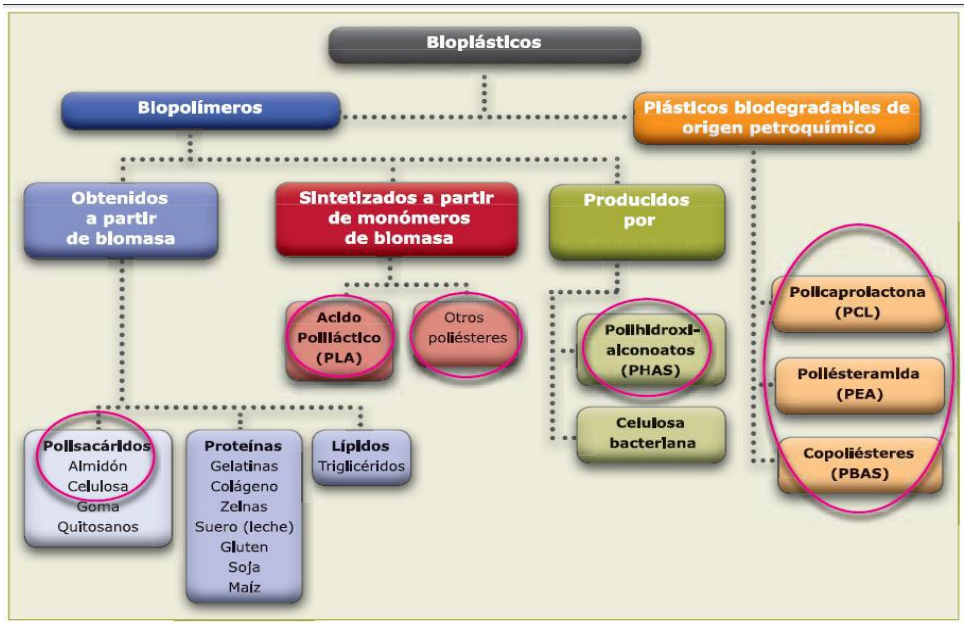


Figura 2.1 Clasificación de los bioplástico.

Fuente: REMAR (Red Energía y Medio Ambiente, ES). 2011. Bioplástico: Certificación y normativa. (Guía práctica no. 2).

2.3.2 VENTAJAS DE LOS BIOPOLÍMEROS

El consumo mundial anual de los plásticos sintéticos provenientes del petróleo es mayor a 200 millones de toneladas, con un incremento anual de aproximadamente el 5%. Su alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en unos residuos difíciles de eliminar convirtiéndose en un problema ambiental. El polietileno y el polipropileno, por ejemplo, son dos de los plásticos más usados en la industria y tardan hasta 500 años en descomponerse. Por otro el petróleo un recurso no renovable y su precio varía con el tiempo. Ante esta problemática, se ha desarrollado interés por el uso de bioplásticos. (Pacheco Gina, 2014)[11]

Una de las aplicaciones principales del plástico es el empaquetado, ya que se comercializa una buena cantidad de polietileno de baja densidad en forma de rollos de plástico transparente para envoltorios. El polietileno de alta densidad se usa para películas plásticas más gruesas, como la que se emplea en las bolsas de basura. Por otro lado, también se utiliza el polipropileno, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC) y el policloruro de vinilideno para el empaquetado. Este último se usa en aplicaciones que requieren hermeticidad, ya que no permite el paso de gases (por ejemplo, el oxígeno) hacia dentro o hacia fuera del paquete. De la misma forma, el polipropileno es una buena barrera contra el vapor de agua; tiene aplicaciones domésticas y se emplea en forma de fibra para fabricar alfombras y sogas. El polietileno de alta densidad se usa en tuberías, del mismo modo que el PVC. Este último se emplea también en forma de láminas como mate- rial de construcción. Muchos plásticos se utilizan para aislar cables e hilos; el poliestireno aplicado en forma de espuma sirve para aislar paredes y techos. También se hacen con plástico los marcos para puertas, ventanas, techos, molduras y otros artículos. (Pacheco Gina, 2014) [11]

Los materiales plásticos son una creación del hombre. Se trata de polímeros, macromoléculas, que tienen propiedades como flexibilidad, durabilidad, versatilidad, de alto rendimiento y bajo costo. Su baja densidad tiene como consecuencia que sea ligero. Los plásticos se llaman así porque en alguna parte de su fabricación tienen propiedades plásticas, pueden ser plásticos, solo una vez, o pueden serlo tantas veces como se quiera. Sin embargo, esta propiedad no basta para distinguir a los plásticos de otros materiales. Los plásticos son materiales orgánicos, estos están basados en la química del carbono, así mismo son materiales sintéticos, que convierte materias

primas en formas nuevas y radicalmente diferentes. Los plásticos son también polímeros de elevado peso molecular, es decir, son moléculas gigantes formadas por numerosas unidades repetidas combinadas en agregados muy grandes. (Terry L. Richardson, 1999)[12]

Las ventajas y desventajas frente al bioplástico se muestra en la tabla 2.1, como son la baja densidad relativa, ya que la mayoría de los plásticos tiene como consecuencia que el producto final sea ligero. También tienen propiedades excelentes de aislamiento térmico y eléctrico. Sin embargo, algunos pueden fabricarse para ser conductores de electricidad en caso de que se necesite. Son resistentes a la corrosión por muchas sustancias que atacan a otros materiales, y algunos son transparentes, lo que hace posible utilizarlos en la industria (embalaje, decoración). También resultan fáciles de moldear con formas complejas, lo que permite la integración de distintos materiales y funciones. Y en el caso de que las propiedades físicas de un determinado plástico no se ajusten a los requisitos específicos, el equilibrio de sus propiedades puede modificarse añadiéndole o reforzándolo con cargas, colores, agentes que lo transformen en espuma, sustancias ignífugas, plastificantes, etc; para satisfacer las demandas de una aplicación concreta. (Plastics Europe, 2015) Al ser materiales artificiales, no existen mecanismos en la naturaleza para su rápida degradación, lo cual constituye una importante desventaja a la hora de su disposición final. El aumento desproporcionado en la generación de desechos sólidos está asociado a tres factores claves: crecimiento de la población, practica de un estilo de vida sin cuidado del medio ambiente y mejora en el poder adquisitivo de distintos estratos sociales. La producción de plásticos derivados de recursos naturales implica un consumo menor de energía, así como menor emisión de gases tipo invernadero al ambiente. Además, los plásticos provenientes de biomasa implican independencia del petróleo. (Castellon, 2014)[13]

Sin embargo, hoy en día los costos de producción de estos plásticos de nueva generación están incrementando. Así mismo y ya que los bioplásticos se encuentran en desarrollo es importante pasar las barreras que limitan su uso, pues no todos los bioplásticos tienen las mismas propiedades mecánicas, de resistencia al agua y permeabilidad de gases que los plásticos tradicionales, es por ello que hoy en día la investigación sobre nuevos plásticos se encuentra en un momento importante. (Pacheco Gina, 2014)[11] (Tabla 2.1)

Tabla 2.1: Comparación de un Bioplástico y un Plástico

Características	Bioplástico	Plástico
Degradable al 100%	Si	No
Transparente	No	Si
Moldeable	Si	Si
Resistencia a la humedad	Parcialmente	Si
Impermeables	Si	Si
Resistente a la corrosión	Si	Si
Baja densidad	Si	Si
Ayuda a disminuir la contaminación	Si	No
Aislante eléctrico	Si	Si
Tiempo máximo de degradación	1 año	Mayor a 100 años
Reciclable	Si	No

Fuente: Torres, F.G; Amaya, E .; Díaz, D.A .; Torres, C .; Troncoso, O.P. 2011. Biodegradabilidad y propiedades mecánicas de películas de almidón de cultivos andinos. Revista internacional de macromoléculas biológicas 48: 603–606

2.3.3 METODOLOGÍAS PARA ELABORAR BIOPLÁSTICOS

Los métodos para elaborar biopolímeros son diversos y existe una amplia variedad de bioplástico, la investigación del autor Torres, se centró en las metodologías para elaborar bioplástico a nivel de laboratorio a partir de almidón. (Torres et al., 2011)[15]

Las distintas metodologías que se encontró comparten la misma base teórica para elaborar los bioplástico. Para polimerizar el almidón se debe tomar en cuenta su estructura, el almidón está compuesto por amilosa y amilopectina, la amilosa tiene una estructura muy larga y recta, mientras que la amilopectina tiene una estructura ramificada y corta.

Para polimerizar el almidón se debe buscar una linealidad en la estructura por lo que el primer paso debe ser eliminar las ramificaciones de la amilopectina, esto se puede lograr mediante una hidrólisis ácida; MIT (2012), Biorenewable Resources and Technology Department (2011) y Sweeney (2008) utilizaron ácido acético para dicho

proceso; mientras que Arroyo y Alarcón (2011) utilizaron ácido bórico y el PhD en química orgánica Read Davis (2008) utilizó ácido clorhídrico. luego, se agregó un plastificante, todos los autores citados incluyeron la glicerina y el agua entre sus insumos, la glicerina actúa como plastificante y le da la flexibilidad al bioplástico mientras que el agua actúa como solvente facilitando el proceso de polimerización además de poseer también propiedades plastificantes (Corrales et al., 2007)[16]

2.3.4 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS EN EL PERÚ

Los estudios del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú (Torres et al., 2011); obtuvieron el almidón de doce cultivos andinos (Tabla 2.2) que utilizaron para preparar películas biodegradables por fundición. El agua y el glicerol se utilizaron como plastificantes.

Tabla 2.2: Cultivos Andinos

Código	Nombre común	Parte	Nombre científico
WCA01	Arracacha	Tubérculo	*Arracacia xanthorrhiza*
CHI01	Garbanzo	Legumbre	*Cicer arietinum*
BAN01	Plátano	Fruta	*Musa paradisíaca*
OCA01	Oca	Tubérculo	*Oxalis tuberosa*
CAS01	Yuca	Tubérculo	*Manihot esculenta*
SPO01	Camote	Tubérculo	*Ipomoea batatas*
POT01	Papa amarilla	Tubérculo	*Solanum goniocalyx*
POT02	Papa “Huamantanga”	Tubérculo	*Solanum tuberosum*
POT03	Papa “Mariva”	Tubérculo	*Solanum tuberosum*
POT04	Papa “Muru-huayro”	Tubérculo	*Solanum tuberosum*
POT05	Papa “Peruanita”	Tubérculo	*Solanum tuberosum*
POT06	Papa “Yungay”	Tubérculo	*Solanum tuberosum*

Fuente: Torres, F.G; Amaya, E .; Díaz, D.A .; Torres, C .; Troncoso, O.P. 2011. Biodegradabilidad y propiedades mecánicas de películas de almidón de cultivos andinos. Revista internacional de macromoléculas biológicas 48: 603–606

Para la obtención del almidón, se limpiaron y picaron los cultivos mostrados, luego se homogeneizaron en una licuadora, se tamizó y se dejó decantar durante cuatro horas. Se descartó el sobrenadante y el precipitado se desengrasó por resuspensión con 1:1 metanol: agua de la mezcla y se volvió a decantar. El almidón precipitó en la parte inferior del recipiente y se secó a 40°C durante 24 h.

Para la elaboración del polímero, se formó una solución de almidón al 5%(w/w) con el almidón obtenido. Esta solución se hidrolizó parcialmente en ácido clorhídrico diluido (0,1 N) con un ajuste de pH a 2,0. Luego se añadió glicerol en una relación de 2:5 (glicerol: almidón (Base seca)). La solución de almidón se homogenizó por agitación durante 15 min a 95◦C y se neutralizó en hidróxido de sodio diluido de (0,1 N) ajustando el pH a 10 para detener la hidrólisis. La solución de almidón (7% (w / w)) se extendieron sobre placas de Petri y se colocaron en un horno a 40°C para secarlas por 16 horas. (Torres et al., 2011)[15]

Las propiedades mecánicas de las películas a base de almidón se evaluaron por medio de ensayos de tracción. Pruebas de compost y pruebas FTIR (Transformación de Fourier de la radiación infrarroja) fueron llevados a cabo para evaluar la biodegradabilidad de las películas. Los resultados muestran que las propiedades mecánicas (UTS, Módulo de Young y alargamiento a la ruptura) de las películas a base de almidón dependen en gran medida de la fuente de almidón utilizada para su producción. Se encontró que la tasa de pérdida de peso de todas las películas a base de almidón fue más alta que la tasa de pérdida de peso de la película de celulosa utilizado como control. (Torres et al., 2011)[15]

Las curvas representativas (Figura 2.2) muestran que películas de almidón presentan un comportamiento elástico. Este comportamiento es asociado con la presencia de glicerol en las películas. En el caso de la papa, la variedad Yungay obtuvo un esfuerzo máximo de 3.22 MPa y una elongación máxima de 24.18%.

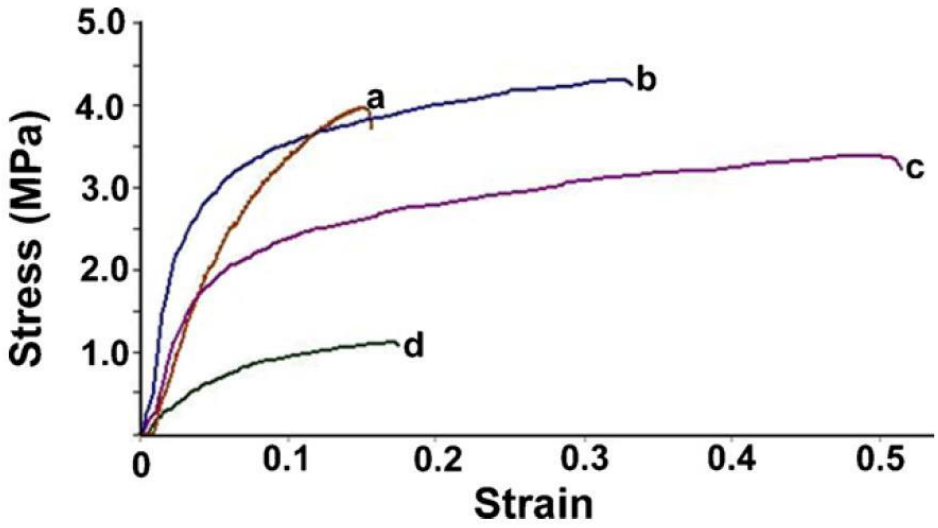


Figura 2.2: Curvas tensión-deformación representativas de las películas de almidón obtenidos a partir de (a) patata, (b) camote, (c) la yuca y (d) de maíz.

Fuente: Alarcón Cavero, Hugo Arturo1,2 * y Arroyo Benites, Edmundo1 (2016), Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa, Lima

2.4 ALMIDÓN

El almidón es un componente con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables.

Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 48,5 millones de ton/año (Faostat, 2001), existe una demanda insatisfecha del mismo.

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles: Amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. (Alarcon, 2016)[17]

Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo. (Alarcon, 2016) [17]

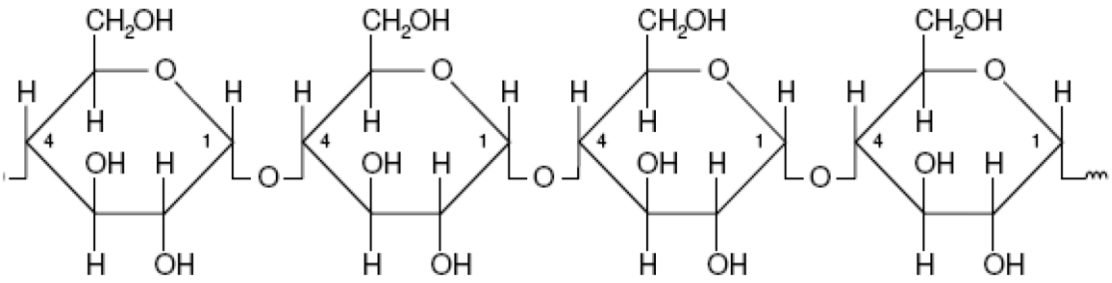


Figura 2.3: Estructura química de la amilosa

Fuente: Alarcón Cavero, Hugo Arturo1,2 * y Arroyo Benites, Edmundo1 (2016), Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa, Lima

Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. (Alarcon, 2016) [17]

La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta. (Alarcon, 2016) [17]

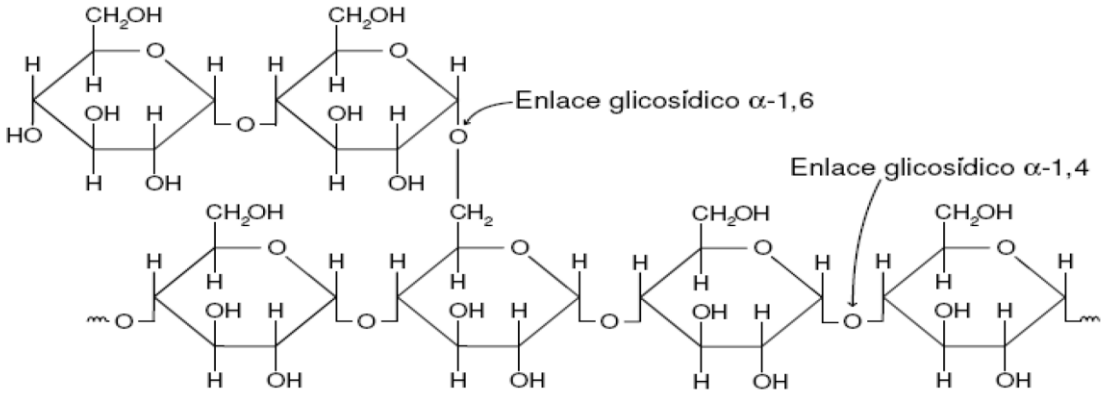


Figura 2.4: Estructura química de la amilopectina.

Fuente: Alarcón Cavero, Hugo Arturo1,2 * y Arroyo Benites, Edmundo1 (2016), Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa, Lima

El almidón sin modificar está muy limitado debido a sus pobres propiedades, como son: el deterioro de las propiedades mecánicas por la humedad, la reducida procesabilidad debido a su alta viscosidad y la fragilidad de las piezas fabricadas. (Alarcon, 2016) [17]

Es por eso que al almidón se le realizan modificaciones por varios métodos para logar un cambio favorable.

2.4.1 PROCESO DE GELATINIZACIÓN

Se define como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y elevadas cantidades de agua. La gelatinización ocurre en un rango estrecho de temperaturas que varía dependiendo de la fuente del almidón. . (Gladys Ruiz Avilés, 2006)[18]

El desenrollado de las moléculas y la movilidad térmica de las mismas producidas por el hinchamiento, producen la disminución de la cristalinidad, rompiendo la estructura. El comportamiento de la mezcla va a depender de la concentración y el nivel de absorción de agua por parte del almidón. . (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

Cuando ocurre la gelatinización, los gránulos hinchados del almidón ocupan los espacios vacíos. La viscosidad aumenta con la temperatura hasta la fragmentación de los gránulos, que se desintegran y se disuelven generando un decrecimiento en la viscosidad. . (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

En una alta concentración de almidón, cuando se pretende obtener un almidón termoplástico, el comportamiento es diferente, mientras más rigidez haya, se da una mayor resistencia debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que genera una alta viscosidad. . (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

En estas condiciones, cuanto más calor se adiciona, el agua retenida desintegra la estructura ordenada de los gránulos, y la amilosa comienza a difundirse formando un gel que finalmente soporta los gránulos compuestos ante todo por amilopectina. (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

2.4.2. PROCESO DE RETROGRADACIÓN DE ALMIDÓN

En este proceso de la gelatinización, se debe dejar de introducirse calor para comenzar con la etapa de enfriamiento, la viscosidad crece de nuevo y hay un incremento espontáneo del orden de los puentes de hidrógeno y reorientación de las cadenas

moleculares. Paralelamente se genera un decrecimiento de la solubilidad en el agua fría y un incremento de la turbiedad. (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

2.4.3 PROCESO DE DESESTRUCTURACIÓN

Es la transformación de los granos de almidón semicristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo acompañado de la ruptura de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón. Y la despolimerización (rotura de las cadenas de polímeros) parcial de las moléculas de almidón. (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

Este proceso de desestructuración se incrementa con un aumento en la aportación de energía, que puede provenir de un aumento en el par de torsión o de la temperatura. .(Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

Estas causas permiten una mayor ruptura de los enlaces de amilosa y amilopectina permitiendo de esta manera una mayor fusión con el plastificante agregado; los plastificantes tienen como función evitar el entrecruzamiento de las cadenas del almidón. (Gladys Ruiz Avilés, 2006) [18]

2.5 COMPONENTES PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los biopolímeros requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia.

2.5.1 PLASTIFICANTES

Son pequeñas moléculas agregadas para suavizar un polímero por debajo de su transición vítrea para reducir su cristalinidad o punto de fusión. El agua se recomienda como mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones altas con relación al almidón, ya que es muy complicado extraerla de la mezcla, una vez ésta se encuentre en ella, se necesitaría elevar la temperatura a la de ebullición del agua, logrando así no solo extraer el agua sino degradar la estructura del almidón perjudicando al biopolímero. . (Sperling,2006.)[6]

El glicerol es un alcohol con tres grupos hidroxilo; Estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua. Tiene un aspecto de líquido incoloro y viscoso. No es tóxico, lo que le permite ser un buen lubricante. Su fórmula es C3H8O3. (Sperling,2006.)[6]

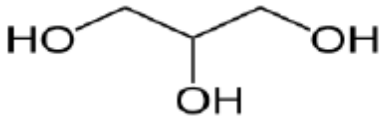


Figura 2.5: Estructura química de la glicerina

Fuente: Sperling L.H. Introducción a la Física de Ciencia de Polímeros, (2006) 3er edi. New Jersey

Junto con el agua destilada, el glicerol es el plastificante más comúnmente utilizado en los diferentes estudios que se han realizado sobre la fabricación de polímeros termoplásticos a partir del almidón. Las mezclas que contienen glicerol tienen un aspecto morfológico suave y uniforme. (Sperling,2006.) [6]

Esta característica es un claro indicador de que el almidón ha plastificado. Este componente presenta una gran utilidad para retardar la retrogradación de los productos termoplastificados y su acción como lubricante facilita la movilidad de las cadenas poliméricas del almidón. (Sperling,2006.) [6]

A su vez, este plastificante tiene un inconveniente el cual reduce significativamente la resistencia a la tracción si su contenido es muy elevado, se aprecia un cierto grado de mejora en la capacidad elástica del material. Este agente plastificante le brinda al producto final características elásticas, permitiendo su maleabilidad.

2.5.2 MODIFICADORES QUÍMICOS

La modificación química del almidón está directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón, reacciones vía éter, dando como resultado la formación de ésteres, oxidación y la hidrólisis de los grupos hidroxilos, son algunas modificaciones químicas aplicables al almidón.

En general la esterificación de los polisacáridos con ácidos orgánicos como el ácido acético es una de las transformaciones más versátiles en los biopolímeros. La introducción de un grupo éster en el polisacárido constituye un desarrollo importante

debido a que permitirá modificar la naturaleza hidrofílica y obtener cambios significativos en las propiedades mecánicas y térmicas de un biopolímero

El ácido acético es recomendado como modificador químico, ya que tiene la propiedad de disminuir el carácter hidrofílico de almidón, brindándole propiedades hidrofóbicas al material mejorando así sus propiedades mecánicas.

2.6 PLÁTANO

El plátano es un fruto de origen asiático, cuyo consumo se ha extendido por todo el mundo. Este se cultiva en todas las regiones tropicales, durante todo el año y es muy importante para las economías de muchos países en vías de desarrollo. En términos de valor bruto de la producción, el plátano es el cuarto cultivo alimentario más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz (Armando Romero, 2014)[20]

El cultivo del plátano en el Perú, así como la adecuada oferta del producto, tienen una gran importancia social y económica, por ser uno de los productos fundamentales en la dieta alimentaria del poblador peruano (Cárdenas Díaz, 2009)[21]

En la región Piura, el cultivo del plátano constituye uno de los principales productos de agroexportación de la zona. Según algunos estudios, el plátano como actividad económica, aportó 4.8% en el año 2010 a la producción agrícola y para el año 2015 se estimó un crecimiento del 2.6% de su exportación, cuyo principal motivo ha sido el incremento de la demanda del plátano bellaco para la elaboración de chifles y harina de plátano (Torres, 2011)[15]

2.6.1 CÁSCARA DE PLÁTANO

La cáscara de plátano es un residuo orgánico que se genera de forma abundante en la Región Piura debido a la alta producción de chifles proveniente de las empresas chifleras y a la producción de harina de plátano. (Hahn-Hiigerdal, 1996)[22]

Esta composición varía dependiendo del origen del material. Ésta, es una fuente abundante de material celulósico, es el constituyente externo del plátano y representa alrededor del 40% de su peso. (Hahn-Hiigerdal, 1996) [22]

Los residuos de la cosecha del plátano son ricos en almidón, el cual puede extraerse para su comercialización directa o para otras aplicaciones, como el tratamiento de aguas o la polimerización. El almidón tiene numerosas aplicaciones en la industria papelera, textil, farmacéutica (como excipiente), de adhesivos, alimentos (como espesante), tratamiento de agua (coagulante) y polímeros. El contenido de almidón en el fruto del plátano es de aproximadamente 70-80% en base seca, mientras que la piel puede contener hasta 50%. (Lambis, 2016)[23]

A medida que el plátano va madurando se produce el rompimiento del almidón en azúcares, por lo cual el plátano verde es más rico en almidón mientras que el maduro lo son en azúcares. El almidón contiene una mezcla de las macromoléculas amilosa (15 a 30%) y amilopectina (70 a 85%), la cual varía de una especie vegetal a otra y determina sus características. A mayor contenido de amilopectina, aumentan las propiedades adhesivas, mientras que la amilosa aumenta la capacidad de gelatinización (Lambis, 2016) [23]

Los almidones extraídos de diferentes fuentes vegetales, como del maíz, papa, en este caso banano, pueden ser empleados en la industria de los polímeros, como materia prima para la elaboración de biopolímeros o como aditivos para la mejora de propiedades de polímeros convencionales.

2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

2.7.1 ENSAYO DE TRACCIÓN EN PLASTICOS

Estudia el comportamiento en tracción. – Resistencia a la tracción – Módulo en tracción, deformación a rotura en materiales termoplásticos rígidos y semirígidos, incluidas las composiciones cargadas y reforzadas. Los métodos que se describen en esta norma no son recomendables para ser usados con materiales celulares rígidos o con estructuras tipo sándwich que contengan materiales celulares.

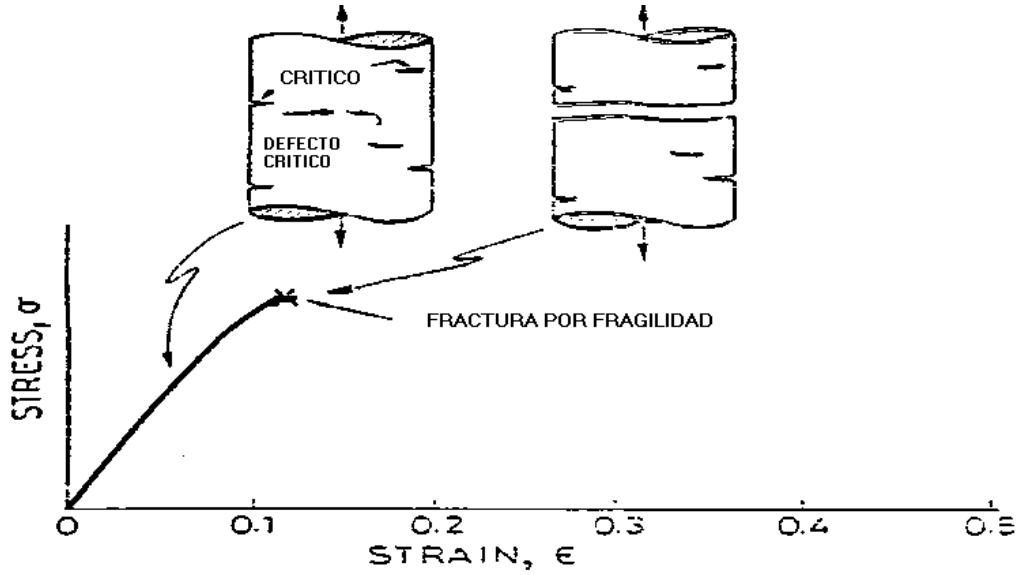
ENSAYO DE TRACCIÓN: PRINCIPIO DEL MÉTODO

La probeta se alarga a lo largo de su eje principal, a velocidad constante, hasta la rotura o hasta que el esfuerzo (carga) o la deformación (alargamiento) hayan alcanzado un valor determinado previamente.

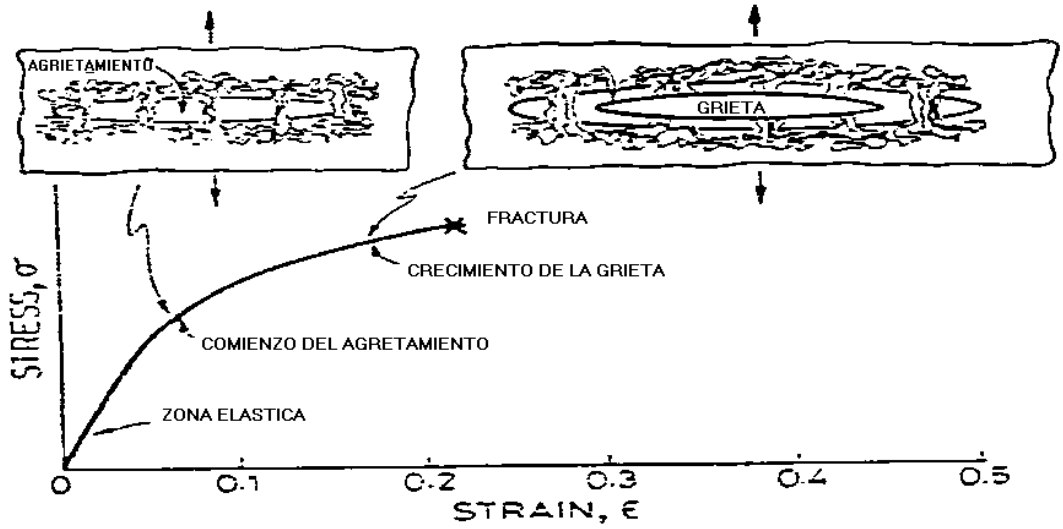
INFORMACIÓN QUE APORTAN LOS ENSAYOS ESFUERZO-DEFORMACIÓN

- ESFUERZO DE TRACCIÓN: Fuerza de tracción por unidad de superficie, soportada por la probeta durante el ensayo
- RIGIDEZ: Representa la resistencia del material a la deformación
- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN: esfuerzo máximo soportado por la probeta antes de romper
- TENACIDAD: representa el trabajo requerido para romper un material. Se puede relacionar con el IMPACTO

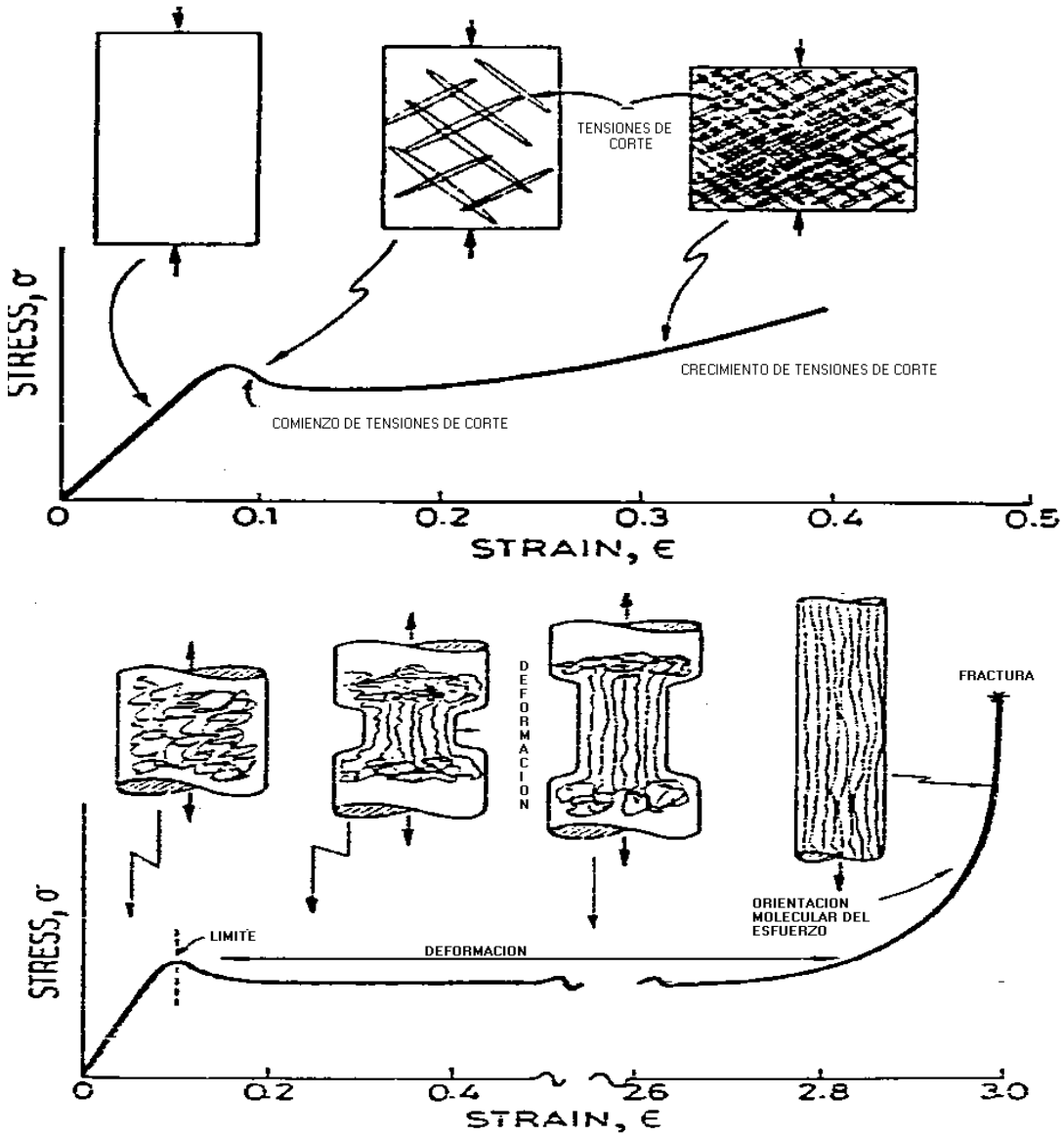
La deformación de un polímero ocurre de la siguiente manera



Polímero frágil y rompe



Formación de craks



ENDURECIMIENTO POR DEFORMACION

Figura 2.5. Proceso de Deformación

Fuente: R. Benavente. Ensayo de tracción. Efecto del grado de cristalinidad. Materiales poliméricos amorfos y semicristalinos

FACTORES ESTRUCTURALES QUE DETERMINAN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES POLÍMEROS

- Influencia del peso molecular •Influencia de la cristalinidad
- Efecto de los plastificantes
- Efecto de la copolimerización y de las mezclas
- Influencia del peso molecular:

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS.

Los materiales que se utilizaron fueron:

3.1.1 PLATANO

Se utilizó el endocarpio (parte interior) del plátano para extraer **el almidón,** el cual fue adquirido en el mercado San Camilo de Origen del Valle de Majes

3.1.2 LIMON

Para **prevenir la oxidación** de la fruta causadas por medios externo que afectan al almidón

3.1.3 GLICERINA

La glicerina vegetal, o glicerol, es un líquido transparente inodoro fue utilizado como **plastificante** en el desarrollo del biopolímero.

3.1.4 ACIDO ACETICO

El ácido acético (también llamado ácido metilcarboxílico o ácido etanoico), se usó para **disminuir la absorción de agua**.

3.1.5 AGUA DESTILADA

El agua destilada se usó **como medio** para hacer la mezcla del biopolímero

Los equipos que se utilizaron fueron los siguientes:

3.1.6 ESTUFA

El horno de laboratorio fue usado para deshidratar y secar las muestras de endocarpio extraídos del plátano, se obtuvo como tiempo de secado alrededor de 48 horas a una temperatura de 35°C.

3.1.7 BALANZA

La balanza es un instrumento que nos permitió medir el peso de los materiales para desarrollar el biopolímero

3.1.8 MATRIZ PARA PROBETAS.

Se tomó la norma ASTM D638 para fabricar la matriz que nos permitirá obtener las probetas para el ensayo de tracción.

Figura 3.1: Matriz de probetas

Fuente: Elaboración Propia

2.1.9 MAQUINA DE ENSAYO DE TRACCION

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young
- Límite elástico
- Esfuerzo Máximo
- Esfuerzo de Rotura
- Resiliencia a la tracción: La resiliencia es la capacidad de un material de absorber energía elástica cuando es deformado y de cederla cuando se deja de aplicar la carga, su unidad es en Joule por Unidad de sección (Joule por metros cuadrados en el Sistema Internacional).

Teniendo distintas aplicaciones como contenedores de alimentos(taper), empaques para diversos productos comestibles.

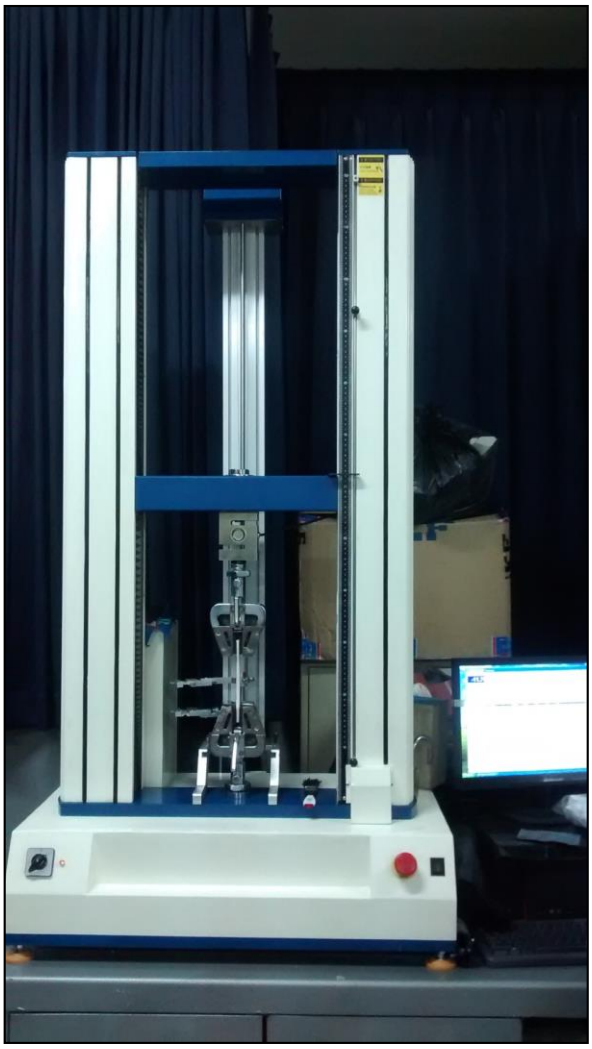


Figura 3.2: Maquina de Ensayos de Tracción de 2 Toneladas de carga Máxima

Fuente: Elaboración Propia

3.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES.

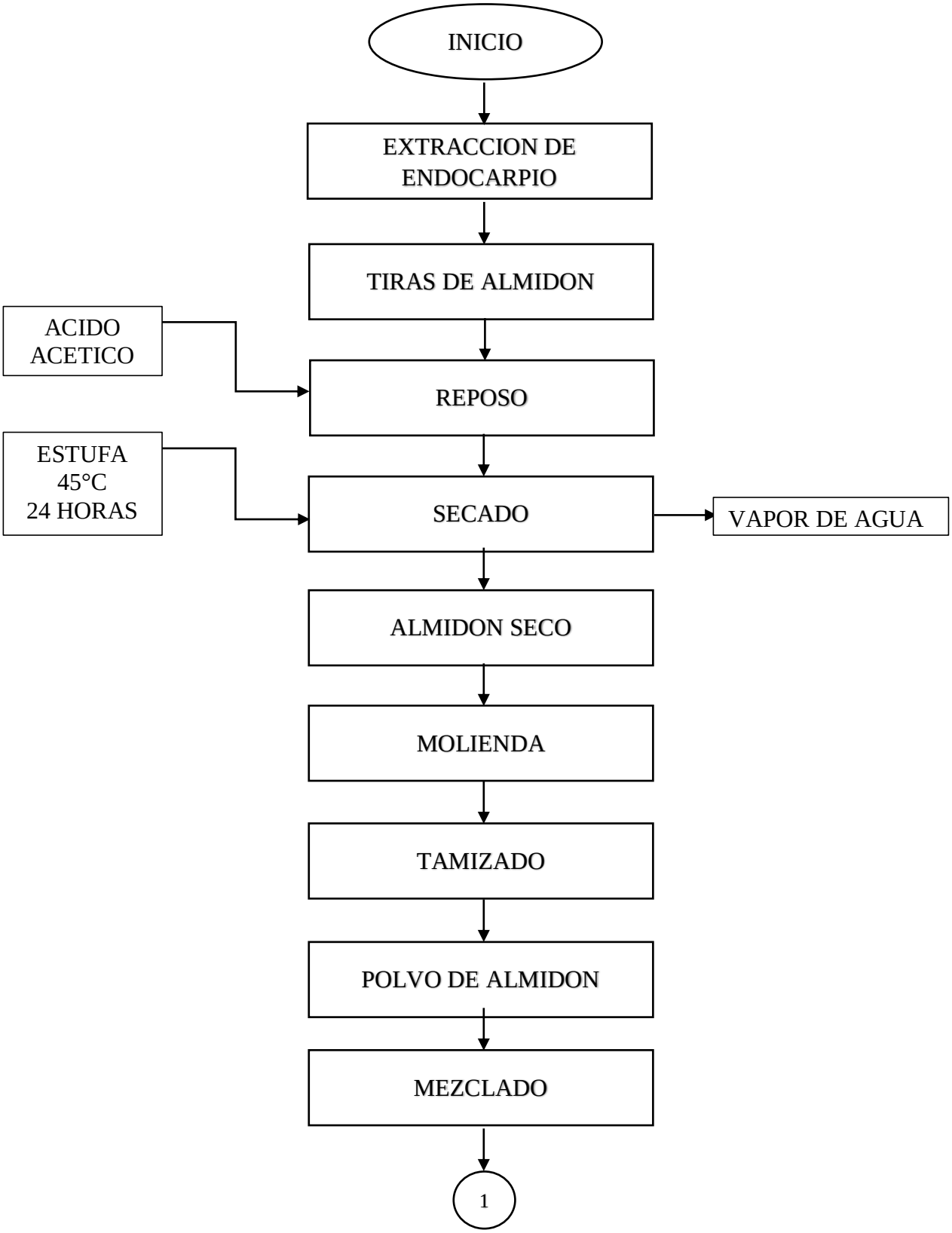
Tabla 3.1: Variables

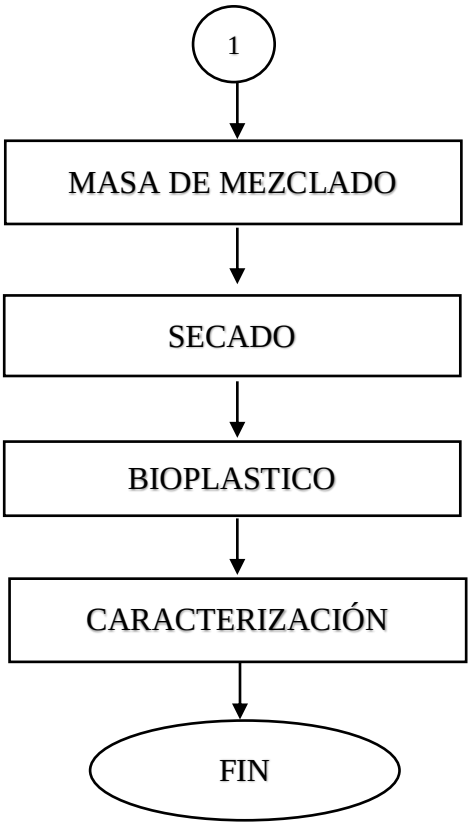
Variables Independientes	Variables Dependientes	Constantes
• % DE ALMIDON	• MODULO DE YOUNG • ESFUERZO MAXIMO • RESILIENCIA A LA TRACCION(Energía almacenada antes de romper)	• % DE AGUA DESTILADA • % DE GLICERINA • % DE ACIDO ACETICO

Fuente: Elaboración Propia

3.3 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS.

El procedimiento realizado esta comprendido en el siguiente flujograma:





3.3.1 EXTRACCIÓN DEL ENDOCARPIO

De las cáscaras de plátano se extrae el endocarpio, cortando, lo más fino que se puedan, delgadas tiras de la parte interior de la cáscara. Lo que se obtiene son las tiras de almidón

Figura 3.3: Endocarpio de plátano

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 REPOSO

Después de la extracción de cada tira de almidón se debe dejar reposando en ácido cítrico con la finalidad de mantenerlo en el estado deseado sin que se oxide durante 15 minutos aproximadamente o hasta cuando se termine de extraer todo el endocarpio de las cáscaras.

3.3.2.1 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO DEL BANANO

Cuando una fruta o verdura se torna de un color café pardo es porque ha sucedido un pardeamiento enzimático, término que implica una reacción de oxidación en la que interviene como substrato el oxígeno molecular, catalizada por un tipo de enzimas que se pueden encontrar en prácticamente todas las frutas y verduras. (Calvo 2007).

En el banano, así como en otras frutas, la enzima responsable del pardeamiento enzimático es la polifenoloxidasa (PPO), (es una enzima tetramérica que posee sitios de unión para compuestos aromáticos y oxígeno, cataliza la O-hidroxilación de monofenoles para convertirlos en O-difenoles), que también es conocida como tirosinasa, fenolasa, catecol oxidasa, o-difenoloxidasa, monofenol oxidasa y cresolasa. (Ramirez et al; 2003).

En el banano las reacciones de pardeamiento resultan de la oxidación enzimática de la dopamina (3,4 dihidroxifeniletilamina) por la PPO, a un pH de 7.0 se obtiene la máxima actividad de esta enzima, es por ello que se modifica el ph haciéndolo más acido para evitar esta oxidación. (Guerrero, 2009).

Figura 3.4: Reposo de endocarpio en limón

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 SECADO

El secado de las tiras de almidón se llevará a cabo en una estufa al vacío, durante 35 °C en un tiempo de 48 horas. De este proceso se obtiene el almidón seco.

Figura 3.5: Secado del endocarpio

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.6: Proceso de secado

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4 MOLIENDA

La primera molienda del almidón seco se da en un molino de maíz. De este proceso se obtiene el almidón el polvo, pero es necesario que los granos sean aún más finos.

Para tal caso se utiliza un mortero de cerámica con el fin de disminuir la granulometría del polvo.

Figura 3.7: Molienda de almidón seco

Fuente: Elaboración Propia

El polvo obtenido de la molienda manual se deposita en un tamiz de malla 100, según bibliografía consultada El polvo de almidón que pasa por el tamiz se guarda en un recipiente y lo que se queda en el tamiz vuelva a ser molido manualmente.

Figura 3.8: Tamizado del almidón

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5 MEZCLADO

Se procede a mezclar el polvo de almidón obtenido con los demás insumos necesarios para realizar el bioplástico. Se precalienta en una olla el agua destilada hasta los 70°C. Una vez alcanzada la temperatura deseada se vierten los demás materiales: polvo de almidón, glicerina y ácido acético. De este proceso se obtiene la masa de mezclado.

El almidón en su estado nativo es insoluble en agua. Forma una suspensión temporal de grandes partículas, que no se disuelve en el medio que las rodea y se depositan en el fondo de un recipiente con líquido a menos que se agite. Las partículas pueden embeber una pequeña cantidad de agua, pero generalmente, la formación de una suspensión supone un cambio mínimo del almidón. La captación de agua por el almidón es reversible si el almidón se seca mientras no se ha cocido (Vaclavick, 1998).

3.3.5.1 GELATINIZACIÓN

Los gránulos de almidón se hidratan al calentarse en medio acuoso, a este proceso se le conoce como gelatinización (Tovar, 2008). Al calentarse provoca el colapso (ruptura) del orden molecular, manifestado por cambios irreversibles del gránulo de almidón en las propiedades tales como la fusión de las zonas cristalinas del gránulo, pérdida de birrenfringencia y solubilización de las moléculas que conforman el almidón (Torres, 2007).”

Alguno de los factores que afectan en la gelatinización según Vaclavick (1998) son:

- Ácido: Ácidos como el ácido acético provocan una hidrólisis ácida durante la cocción de los gránulos de almidón dando lugar a la formación de dextrinas o polímeros de cadena corta. La hidrólisis de la molécula de almidón también da lugar a una menor absorción de agua por el gránulo de almidón.
- Agitación: La agitación o el dar vueltas, tanto inicialmente como durante el proceso de gelatinización, permite a los gránulos de almidón hincharse independientemente y crear una mezcla más uniforme, sin grumos. Sin embargo, la agitación excesiva después de que se completa la gelatinización puede romper los gránulos y, en consecuencia, aumentar la fluidez de las mezclas de almidón.
- Temperatura: La gelatinización del almidón se completa a 88-90°C y hasta 95°C; aunque los almidones varían en su temperatura de gelatinización. La investigación realizada por Betancur encontró que la mejor temperatura de gelatinización para el almidón de papa fue de 69°C. (Betancur, 2008)

3.3.5.2 RETROGRADACIÓN

El término retrogradación, ha sido utilizado para describir los cambios que ocurren cuando las moléculas de almidón gelatinizado empiezan a reorganizarse, formando una o más estructuras ordenadas, es decir pasan de un estado inicial amorfo a un estado final más cristalino, se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización (Tovar, 2008).

La amilosa y la amilopectina liberadas durante la gelatinización del almidón, se reasocian e incrementan la rigidez entre y dentro de los gránulos hinchados formando una especie de red. La amilosa usualmente gelifica fuera del gránulo inmediatamente después de la gelatinización. La amilopectina permanece en el gránulo hinchado, donde lentamente recristaliza (Torres, 2007).

La retrogradación consiste en dos procesos:

- Gelación de las moléculas de amilosa lixiviadas del gránulo durante la gelatinización.
- Recristalización de la amilopectina (Biliaderis, 1991a citado por Torres, 2007).

Figura 3.9: Proceso de retrogradación del almidón

Fuente: Elaboración Propia

3.3.6 SECADO

Este proceso se realiza a una temperatura de 35°C durante 48 horas, para reducir el aire del proceso se utilizó una bolsa hermética y obtener mejores resultados en el producto final, generando un biopolímero ya que su descomposición no genera ningún inconveniente al medio ambiente por sus mismos componentes naturales como lo indica la bibliografía, luego se procede a cortar con ayuda de la matriz la probeta para ser ensayada.

Figura 3.10: Secado de muestra del biopolímero.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.11: Extracción de muestra del biopolímero.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.8 BIOPLASTICO

Se elaboraron 4 tipos de bioplástico tomando como factores las cantidades de almidón ya que éstos proveen las características de elasticidad y resistencia del bioplástico. La cantidad de agua, glicerina y ácido acético fueron de 40 g, 10 g y 5g respectivamente.

Figura 3.12: 4 Muestras de biopolímeros.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.9 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Luego de obtener las probetas se procedió a realizar los ensayos de tracción a cada una de estas.

Figura 3.13: tracción de probetas

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESARROLLO DE LAS FORMULAS DEL BIPOLIMERO

La birrefringencia o doble refracción es una propiedad óptica de ciertos cuerpos, que consiste en desdoblar un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos.

Se desarrollaron 4 formulaciones las cuales nos permitirán observar la tendencia de las propiedades mecánicas conforme se aumente la cantidad de almidón.
Las formulaciones que se realizaron fueron las siguientes:

Tabla 4.1: Formula 1

FORMULA 1 : SECADO A 50°C, T= 24 HORAS		
MATERIA PRIMA	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
ALMIDON	7.5 gr	12%
GLICERINA	10 gr	16%
AGUA DESTILADA	40 gr	64%
ACIDO ACETICO	5 gr	8%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Formula 2

FORMULA 2 : SECADO A 50°C, T= 24 HORAS		
MATERIA PRIMA	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
ALMIDON	10 gr	15%
GLICERINA	10 gr	15%
AGUA DESTILADA	40 gr	62%
ACIDO ACETICO	5 gr	8%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3: Formula 3

FORMULA 3 : SECADO A 50°C, T= 24 HORAS		
MATERIA PRIMA	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
ALMIDON	12.5 gr	19%
GLICERINA	10 gr	15%
AGUA DESTILADA	40 gr	59%
ACIDO ACETICO	5 gr	7%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4: Formula 4

FORMULA 4 : SECADO A 50°C, T= 24 HORAS		
MATERIA PRIMA	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
ALMIDON	15 gr	22%
GLICERINA	10 gr	14%
AGUA DESTILADA	40 gr	57%
ACIDO ACETICO	5 gr	7%

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de almidón no se elevó más, debido a que la mezcla presentaba una sobresaturación de almidón y la mezcla tendía a cuartearse.

Figura 4.1: Muestra cuarteada por la sobresaturación del almidón

4.2 CURVAS DEL ENSAYO DE TRACCION DE LAS PROBETAS

Los ensayos mecánicos de tracción fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Católica Santa María, dando como resultado las siguientes gráficas, se tomó una velocidad de 500mm/min

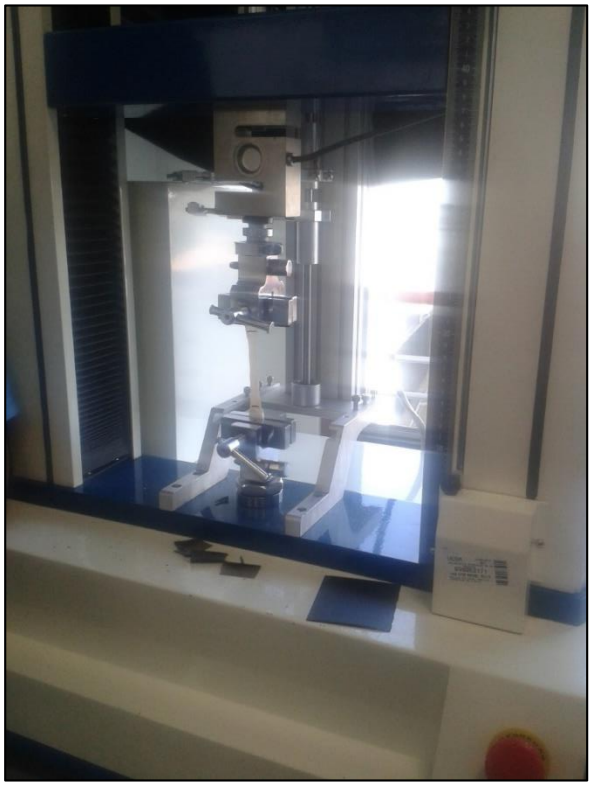


Figura 4.2: Ensayo de tracción en las muestras

Figura 4.3: Probetas luego del ensayo de tracción

Tenacidad: Es la medida de la habilidad de un material para absorber energía sin fractura.

Resiliencia: Una medida de la habilidad de un material para absorber energía sin deformación plástica o permanente

4.2.1 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 12%

REPLICA 1

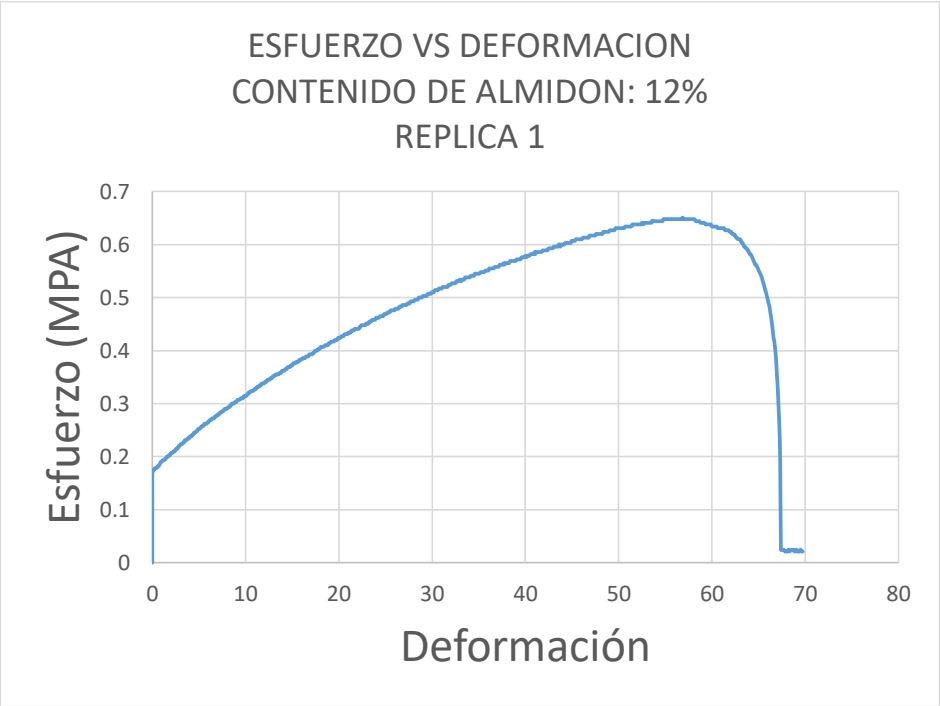


Figura 4.4: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 12% - Replica 1

Fuente: Elaboración Propia

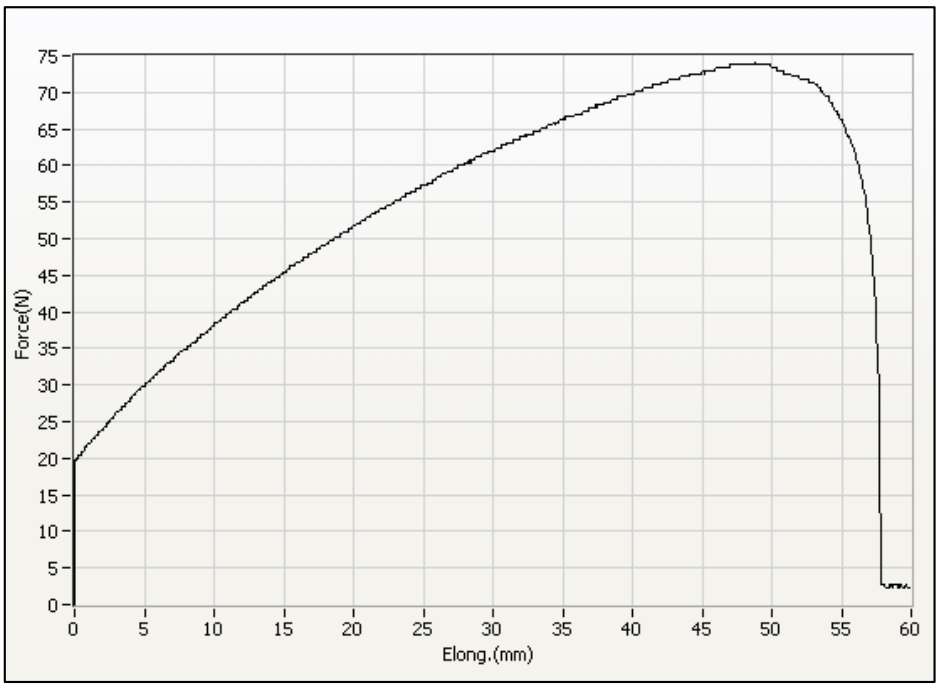


Figura 4.5: Curva Carga vs Elongación de probeta con contenido de almidón: 12% - Replica 1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.5: Información obtenida de las Gráfica de probeta

con contenido de almidón: 12% - Replica 1

PROBETA 1 - Replica 1		
ESFUERZO MAXIMO	0.648	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.386	MPA
MODULO DE YOUNG	0.017	GPA
LMITE ELASTICO	0.5	MPA
RESILIENCIA	0.89	J/m^2
CARGA MAXIMA	74	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.3	min
ELONGACION	60	mm
DENSIDAD	1.14	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 2

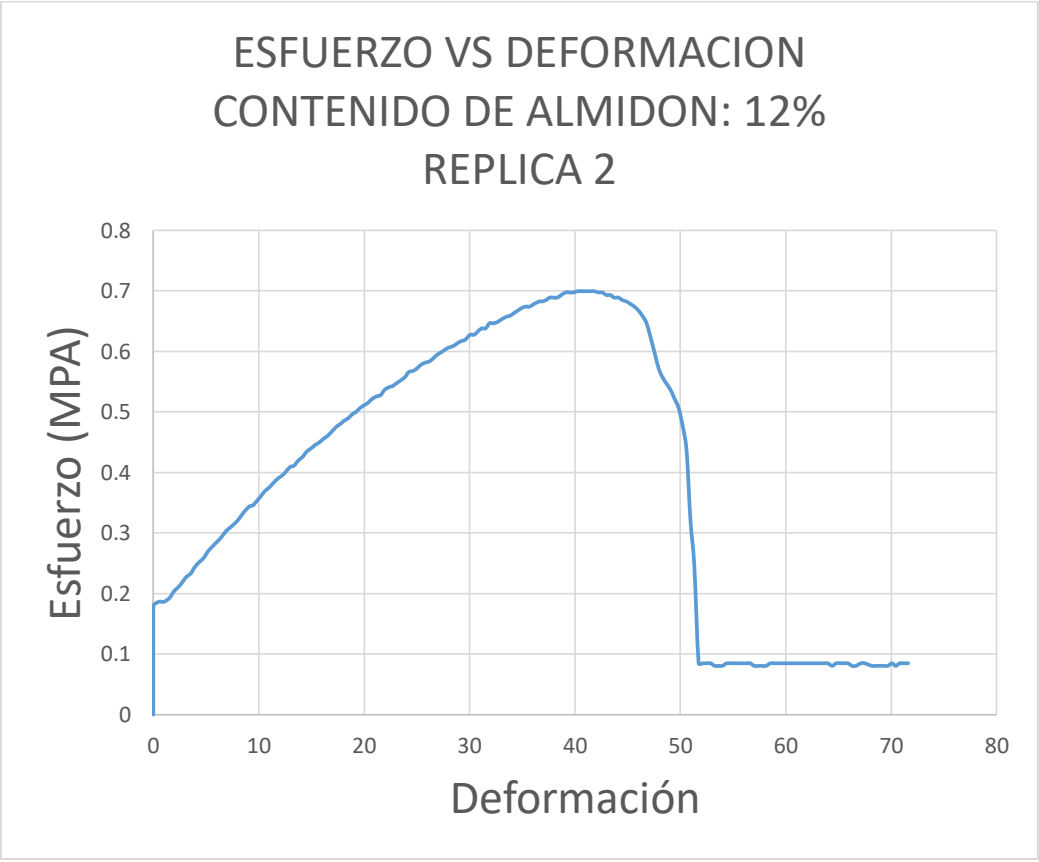


Figura 4.6: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta

con contenido de almidón: 12% - Replica 2

Fuente: Elaboración Propia

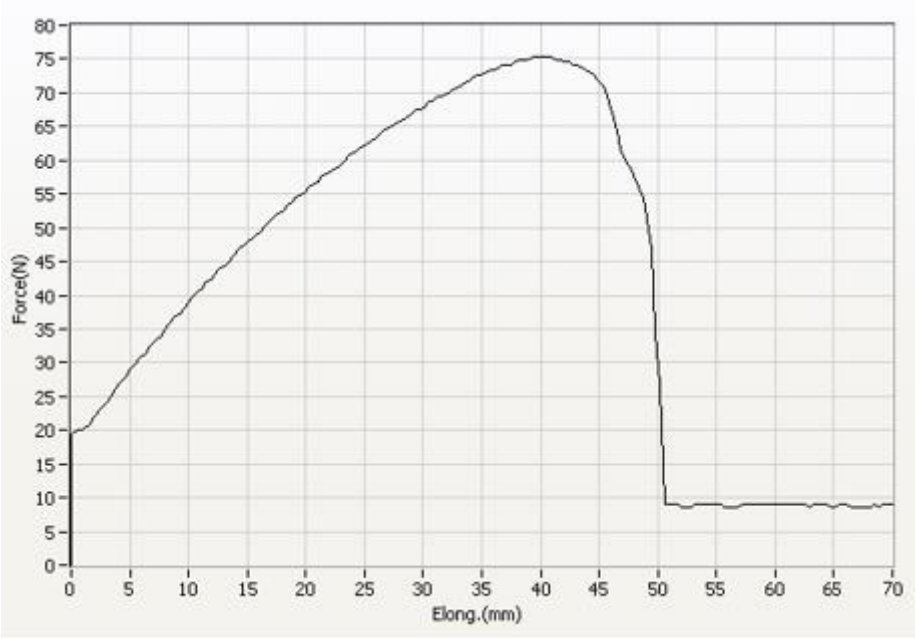


Figura 4.7: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 12% - Replica 2
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.6: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 12% - Replica 2

PROBETA 1 - Replica 2		
ESFUERZO MAXIMO	0.701	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.286	MPA
MODULO DE YOUNG	0.025	GPA
LMITE ELASTICO	0.6	MPA
RESILIENCIA	0.95	J/m^2
CARGA MAXIMA	75	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.7	min
ELONGACION	50	mm
DENSIDAD	1.14	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 3

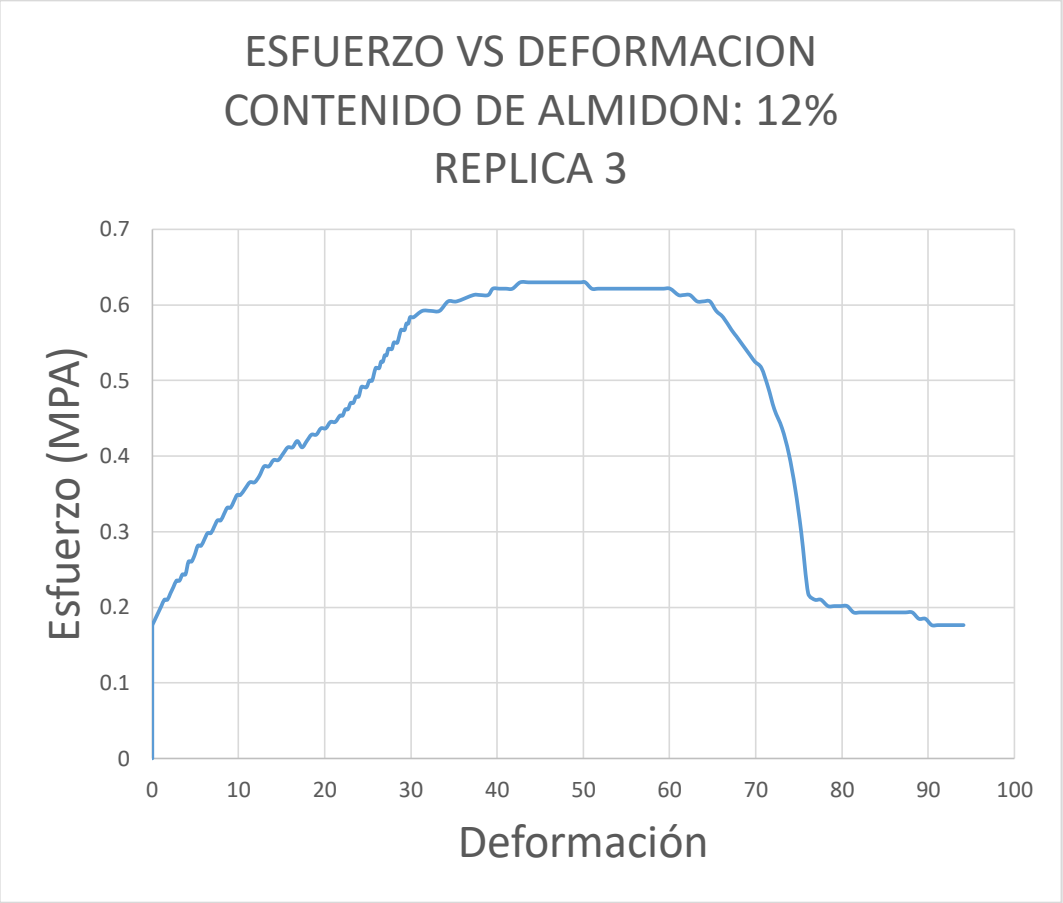


Figura 4.8: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 12% - Replica 3

Fuente: Elaboración Propia

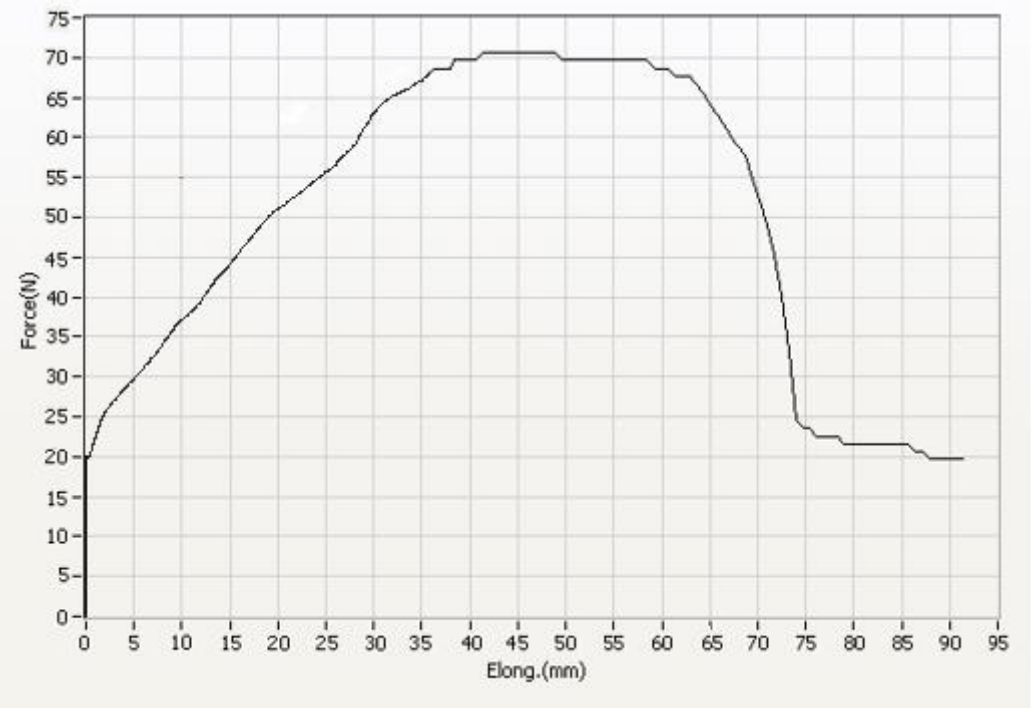


Figura 4.9: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 12% - Replica 3
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.7: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 12% - Replica 3

PROBETA 1 - Replica 3		
ESFUERZO MAXIMO	0.635	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.216	MPA
MODULO DE YOUNG	0.020	GPA
LMITE ELASTICO	0.6	MPA
RESILIENCIA	0.99	J/m^2
CARGA MAXIMA	74	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.6	min
ELONGACION	75	mm
DENSIDAD	1.15	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 15%

REPLICA 1

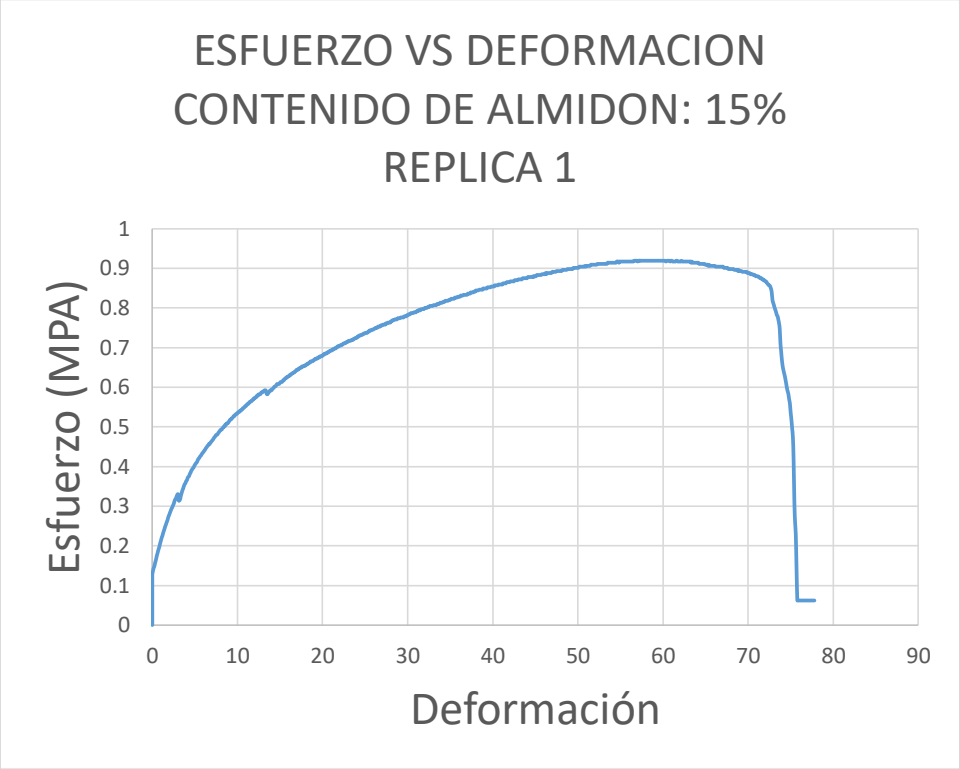


Figura 4.10: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 15% - Replica 1

Fuente: Elaboración Propia

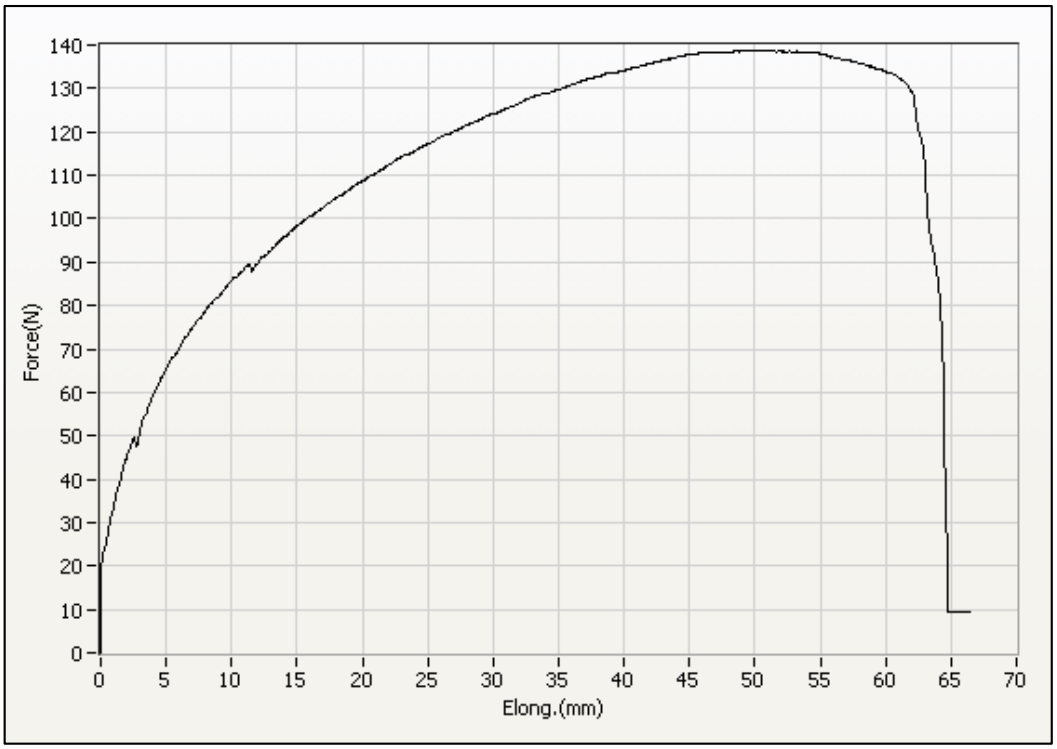


Figura 4.11: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 15% - Replica 1
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.8: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 15% - Replica 1

PROBETA 2 - Replica 1		
ESFUERZO MAXIMO	0.919	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.813	MPA
MODULO DE YOUNG	0.096	GPA
LMITE ELASTICO	0.332	MPA
RESILIENCIA	2.73	J/m^2
CARGA MAXIMA	139	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.3	min
ELONGACION	65	mm
DENSIDAD	1.15	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 2

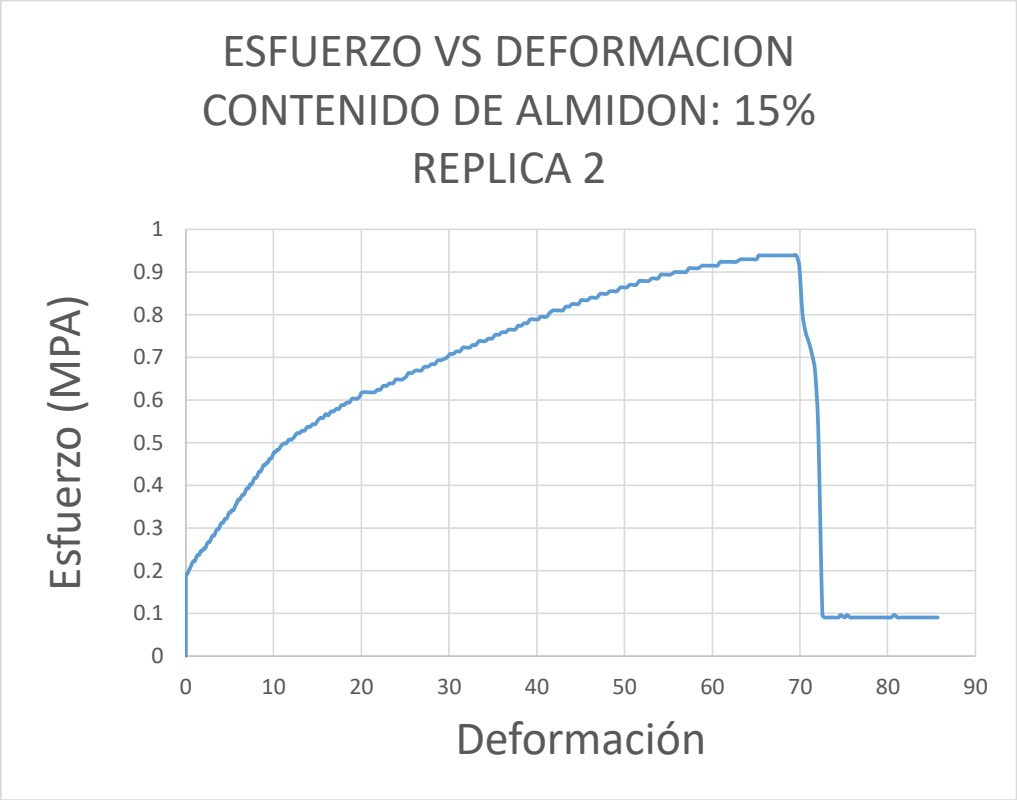


Figura 4.12: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 15% - Replica 2

Fuente: Elaboración Propia

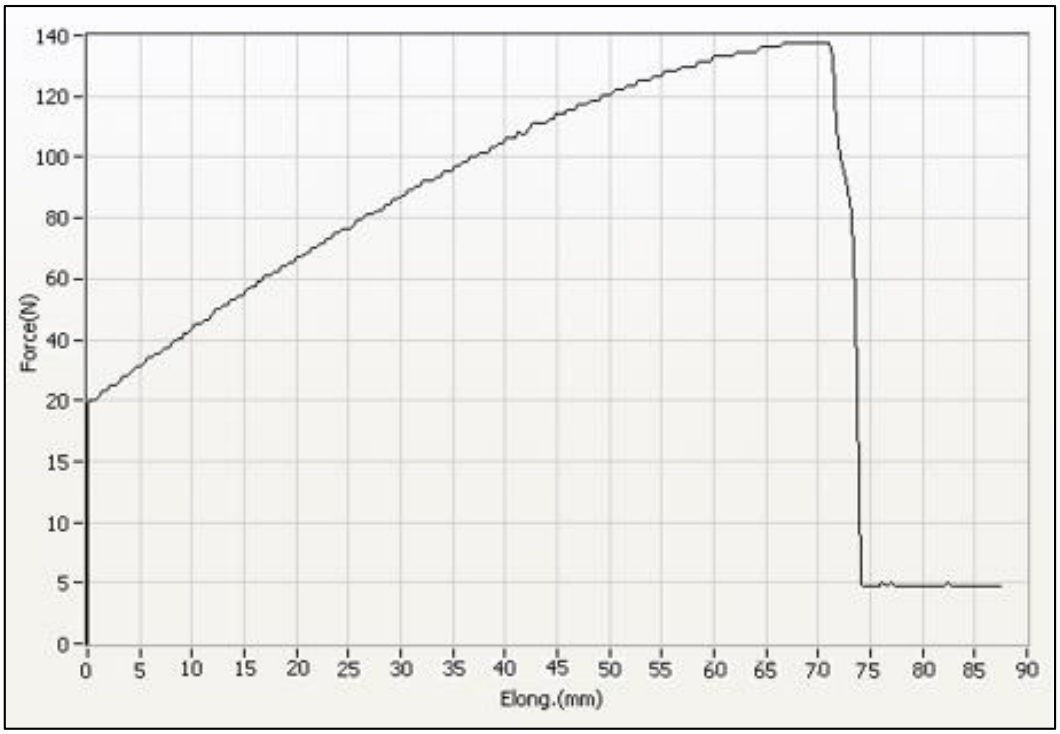


Figura 4.13: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 15% - Replica 2
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.9: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 15% - Replica 2

PROBETA 2 - Replica 2		
ESFUERZO MAXIMO	0.928	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.85	MPA
MODULO DE YOUNG	0.086	GPA
LMITE ELASTICO	0.212	MPA
RESILIENCIA	2.45	J/m^2
CARGA MAXIMA	138	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.5	min
ELONGACION	74	mm
DENSIDAD	1.16	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 3

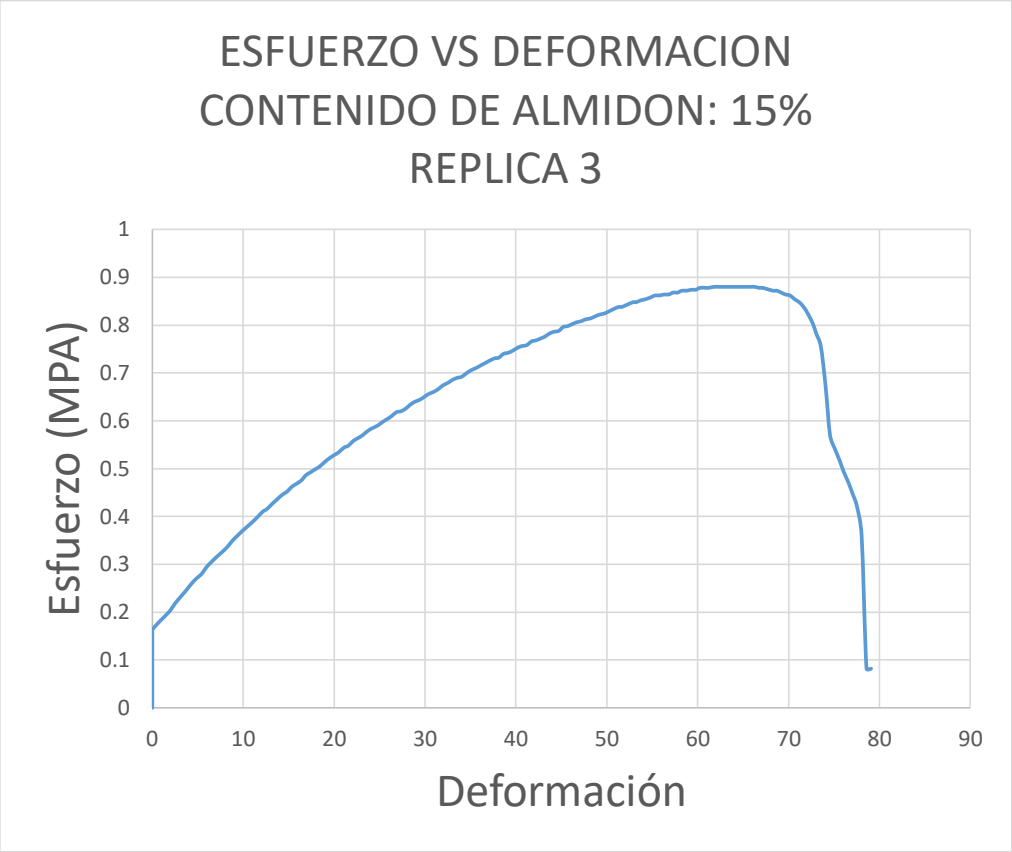


Figura 4.14: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 15% - Replica 3

Fuente: Elaboración Propia

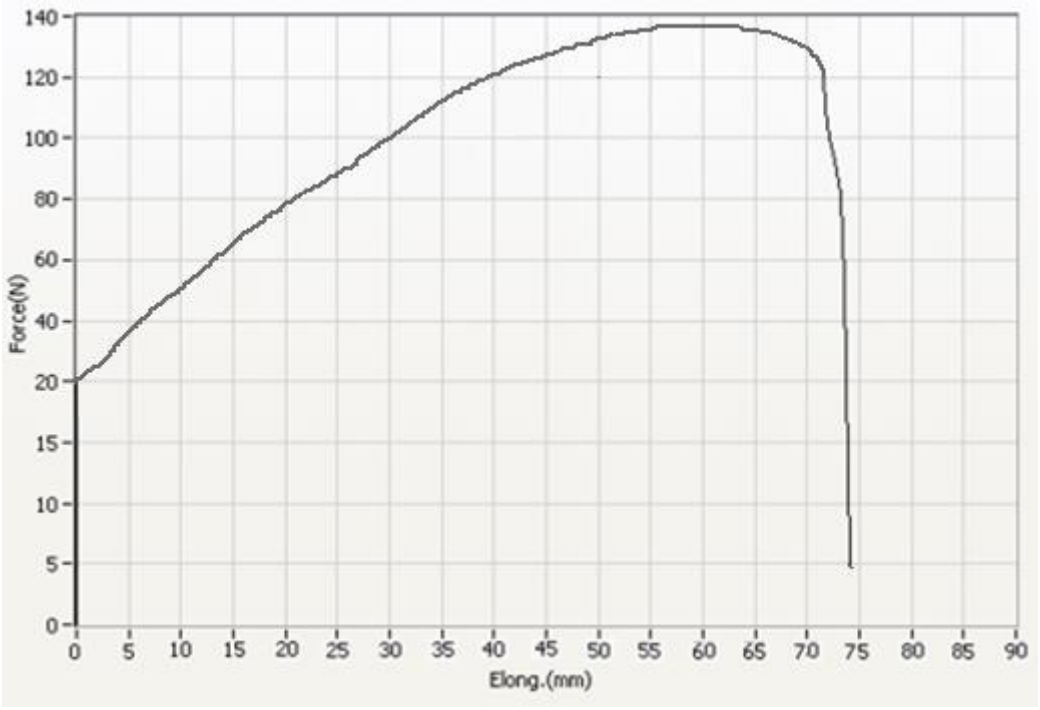


Figura 4.15: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 15% - Replica 3
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.10: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 15% - Replica 3

PROBETA 2 - Replica 3		
ESFUERZO MAXIMO	0.889	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.813	MPA
MODULO DE YOUNG	0.089	GPA
LMITE ELASTICO	0.182	MPA
RESILIENCIA	2.81	J/m^2
CARGA MAXIMA	139	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.6	min
ELONGACION	74	mm
DENSIDAD	1.15	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 19%

REPLICA 1

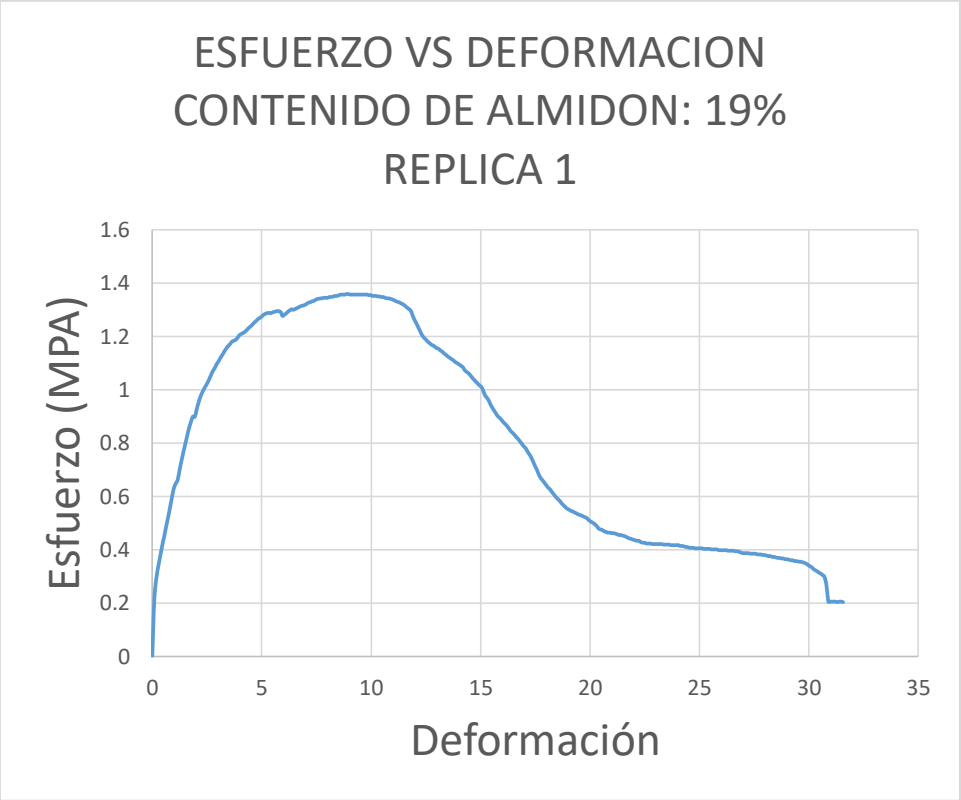


Figura 4.16: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 19% - Replica 1

Fuente: Elaboración Propia

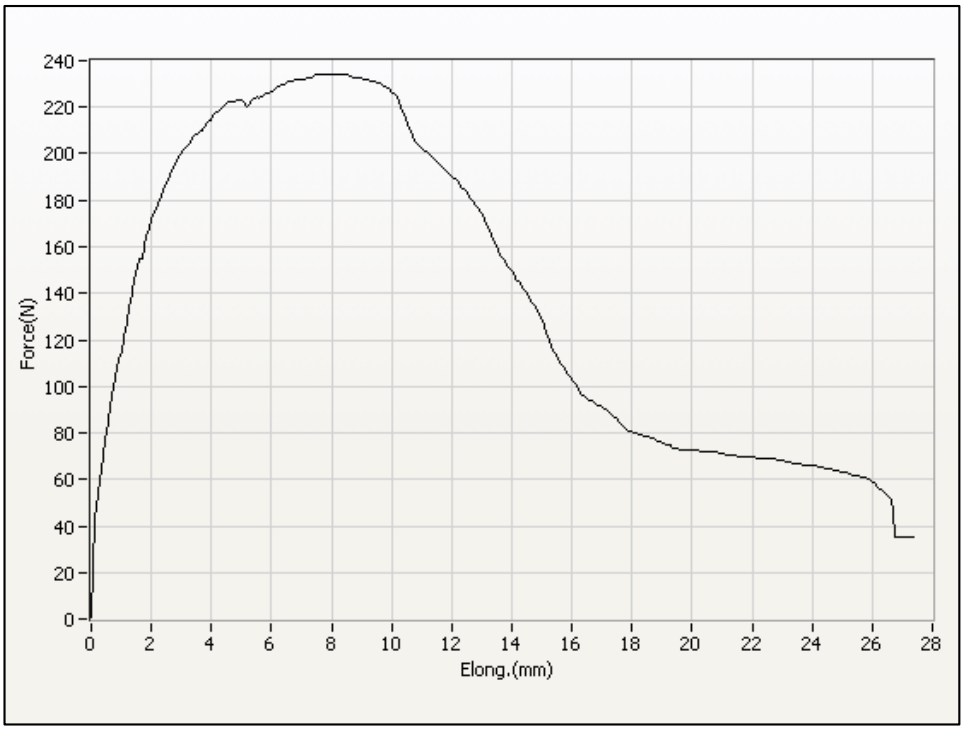


Figura 4.17: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 19% - Replica 1
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.11: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 19% - Replica 1

PROBETA 3 - Replica 1		
ESFUERZO MAXIMO	1.359	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.289	MPA
MODULO DE YOUNG	0.34	GPA
LMITE ELASTICO	1.15	MPA
RESILIENCIA	10.37	J/m^2
CARGA MAXIMA	235	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	0.55	min
ELONGACION	27	mm
DENSIDAD	1.01	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 2

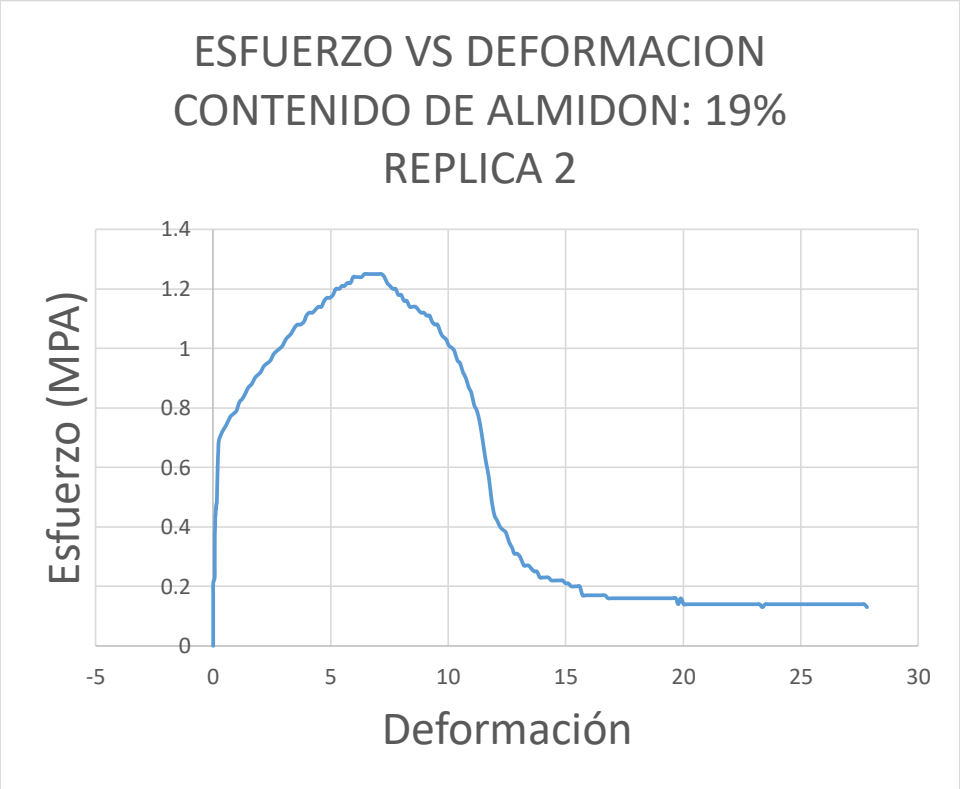


Figura 4.18: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 19% - Replica 2

Fuente: Elaboración Propia

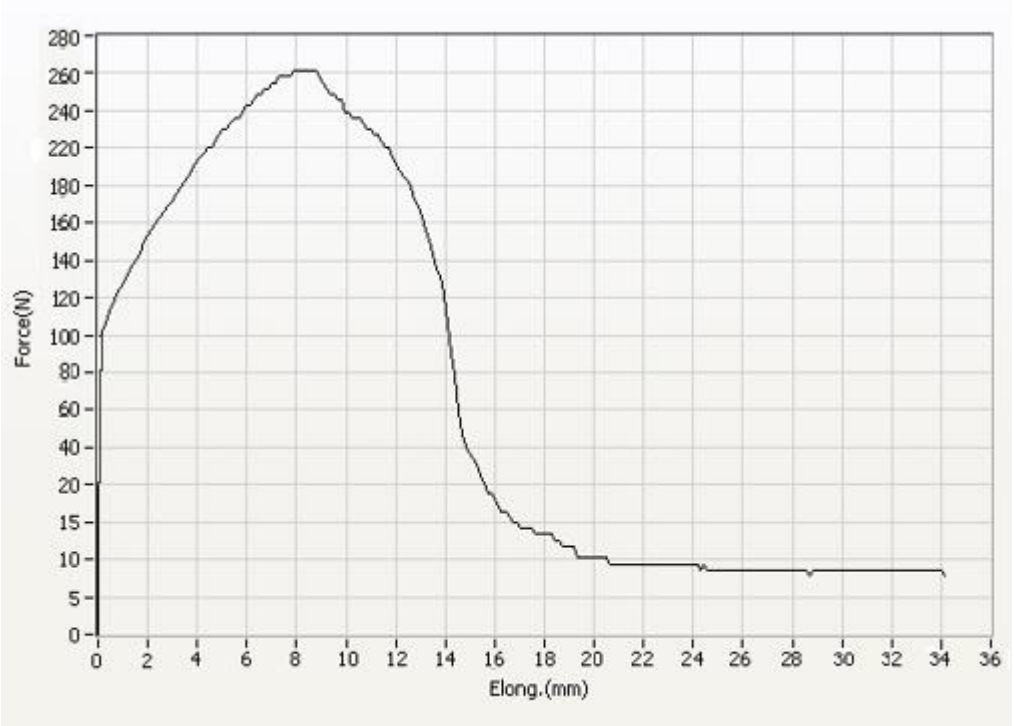


Figura 4.19: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 19% - Replica 2
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.12: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 19% - Replica 2

PROBETA 3 - Replica 2		
ESFUERZO MAXIMO	1.261	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.212	MPA
MODULO DE YOUNG	0.38	GPA
LMITE ELASTICO	1.01	MPA
RESILIENCIA	12.37	J/m^2
CARGA MAXIMA	260	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.2	min
ELONGACION	25	mm
DENSIDAD	1.02	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 3

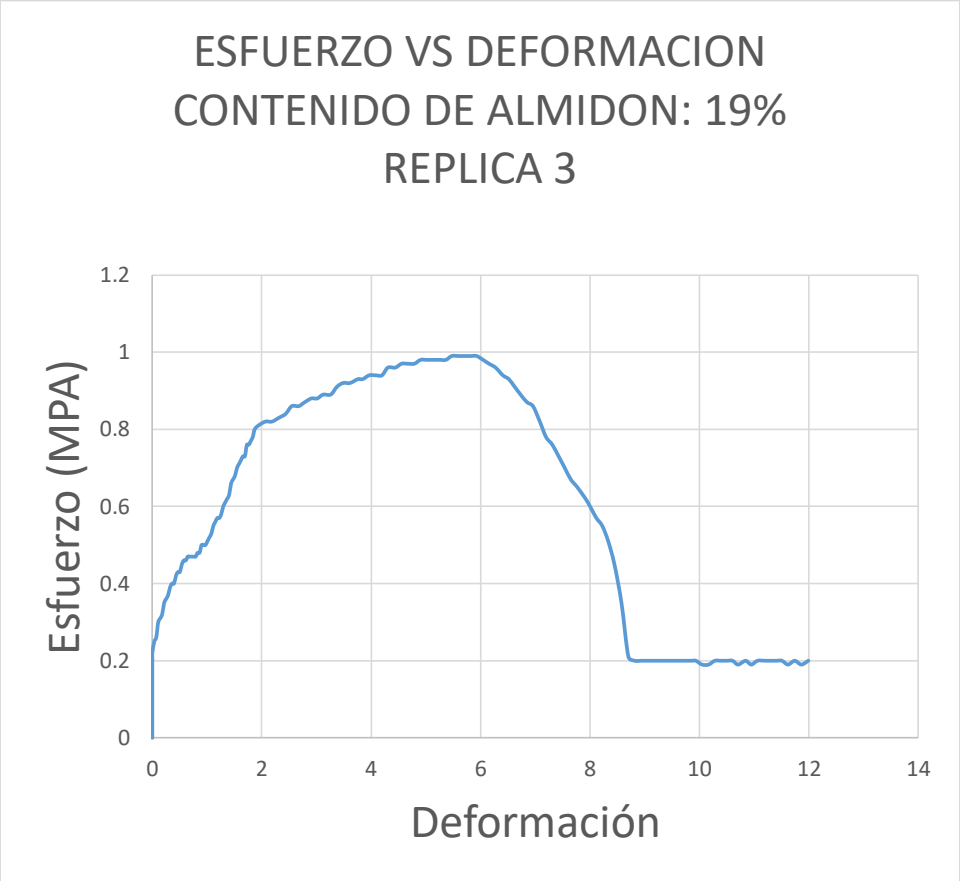


Figura 4.20: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 19% - Replica 3

Fuente: Elaboración Propia

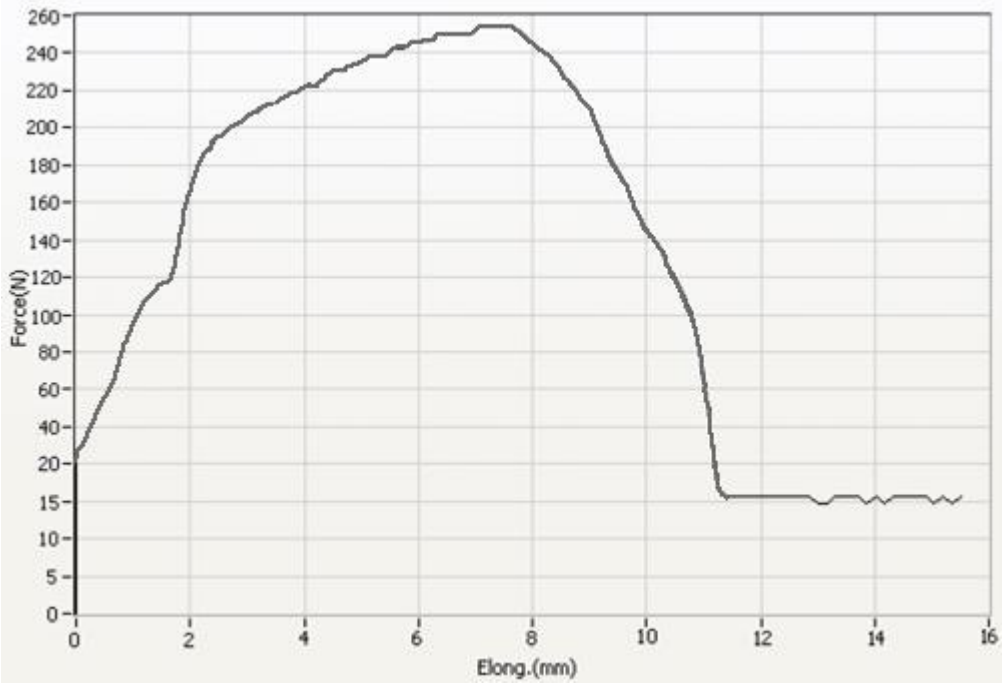


Figura 4.21: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 19% - Replica 3
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.13: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 19% - Replica 3

PROBETA 3 - Replica 3		
ESFUERZO MAXIMO	1.021	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.229	MPA
MODULO DE YOUNG	0.40	GPA
LMITE ELASTICO	2.10	MPA
RESILIENCIA	12.21	J/m^2
CARGA MAXIMA	256	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1,2	min
ELONGACION	15	mm
DENSIDAD	1.01	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 22%

REPLICA 1

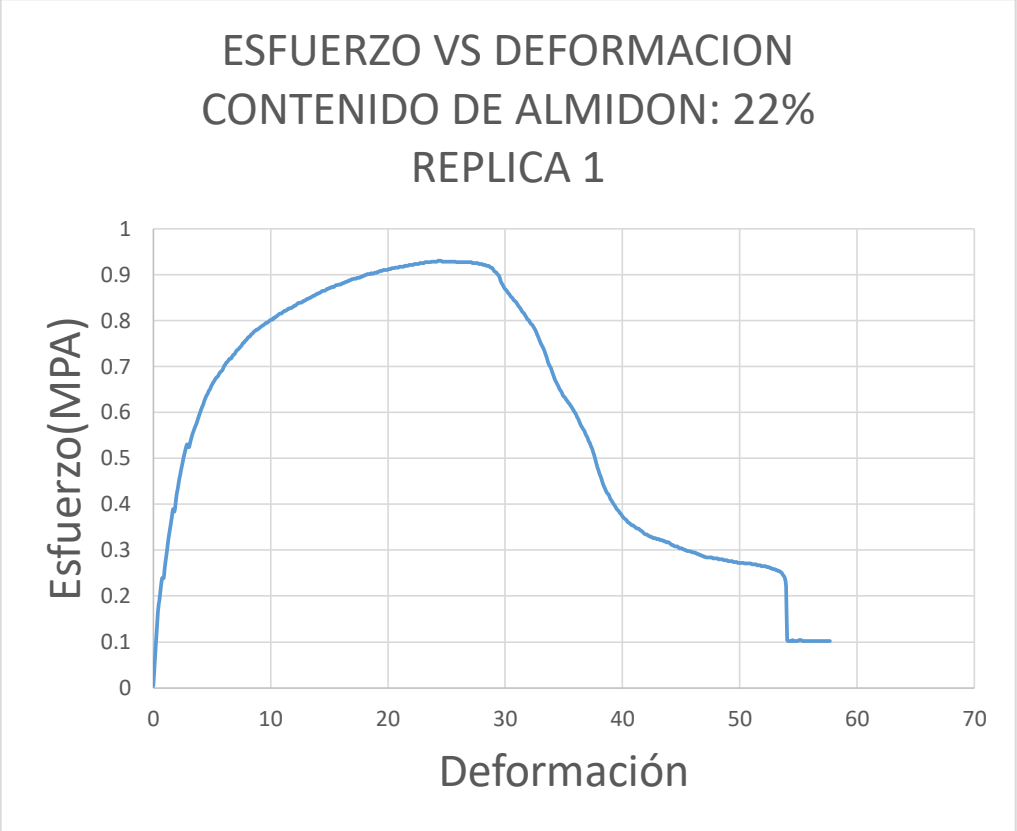


Figura 4.22: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 22% - Replica 1

Fuente: Elaboración Propia

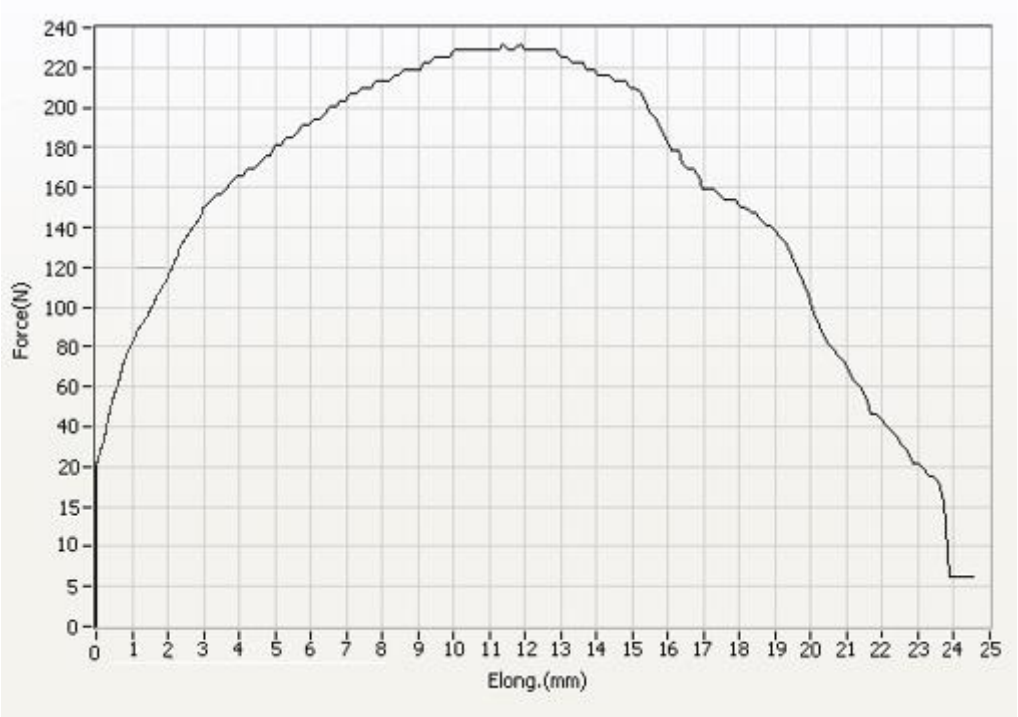


Figura 4.23: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 22% - Replica 1
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.14: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 22% - Replica 1

PROBETA 4 - Replica 1		
ESFUERZO MAXIMO	0.93	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.221	MPA
MODULO DE YOUNG	0.13	GPA
LMITE ELASTICO	0.65	MPA
RESILIENCIA	2.14	J/m^2
CARGA MAXIMA	197	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	0.93	min
ELONGACION	25	mm
DENSIDAD	0.90	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 2

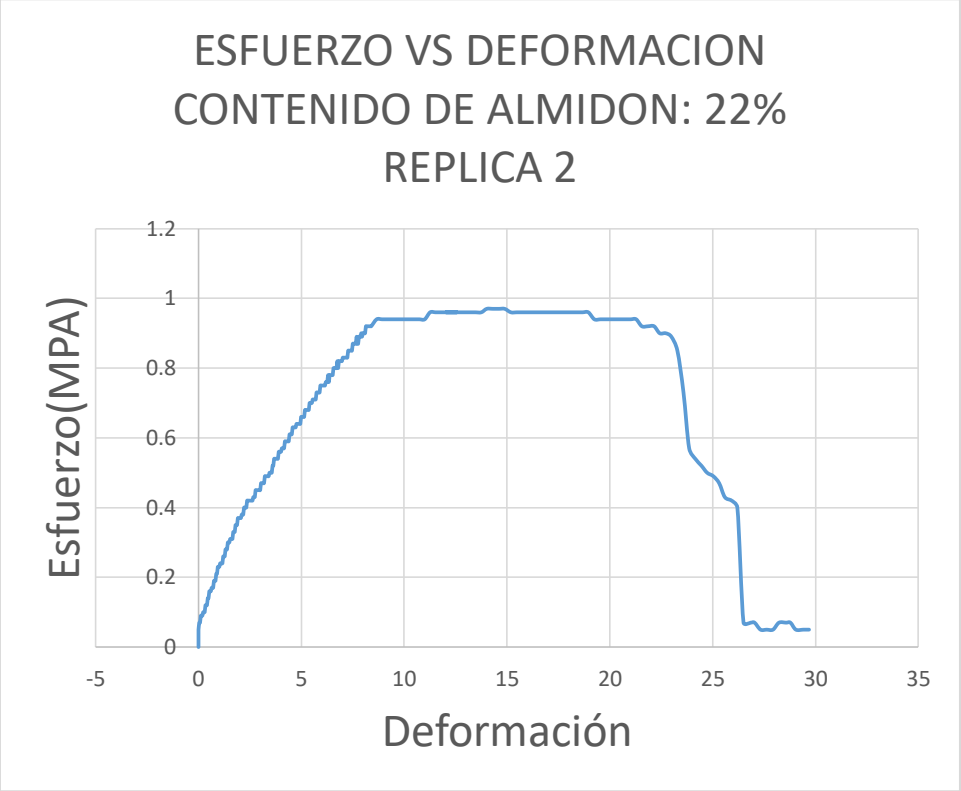


Figura 4.24: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 22% - Replica 2

Fuente: Elaboración Propia

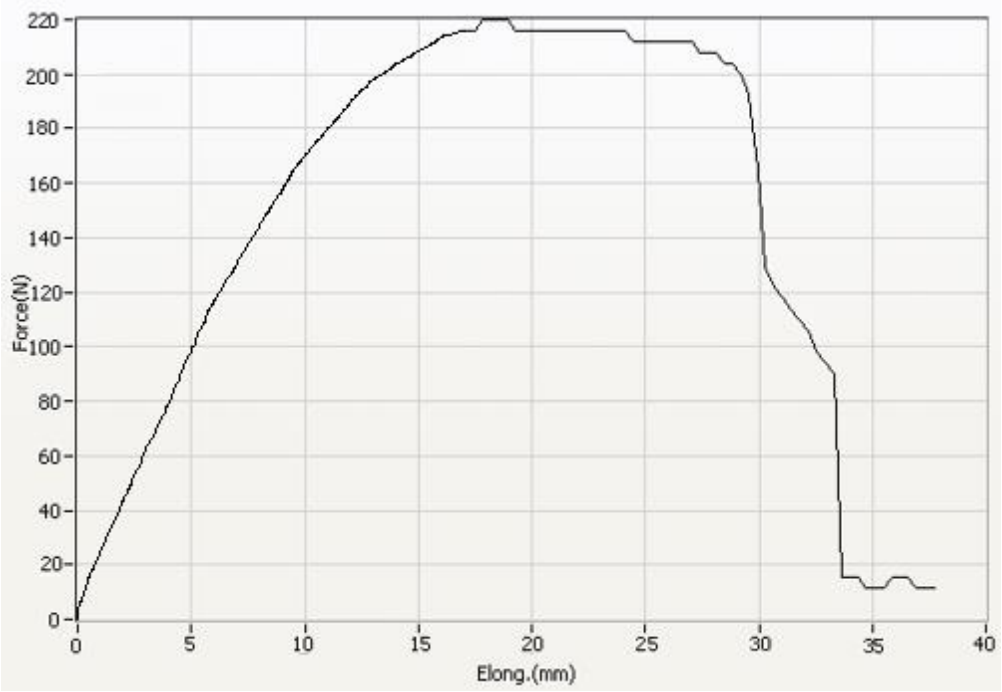


Figura 4.25: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 22% - Replica 2
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.15: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 22% - Replica 2

PROBETA 4 - Replica 2		
ESFUERZO MAXIMO	0.98	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.211	MPA
MODULO DE YOUNG	0.15	GPA
LMITE ELASTICO	0.60	MPA
RESILIENCIA	2.62	J/m^2
CARGA MAXIMA	220	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.1	min
ELONGACION	34	mm
DENSIDAD	0.91	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

REPLICA 3

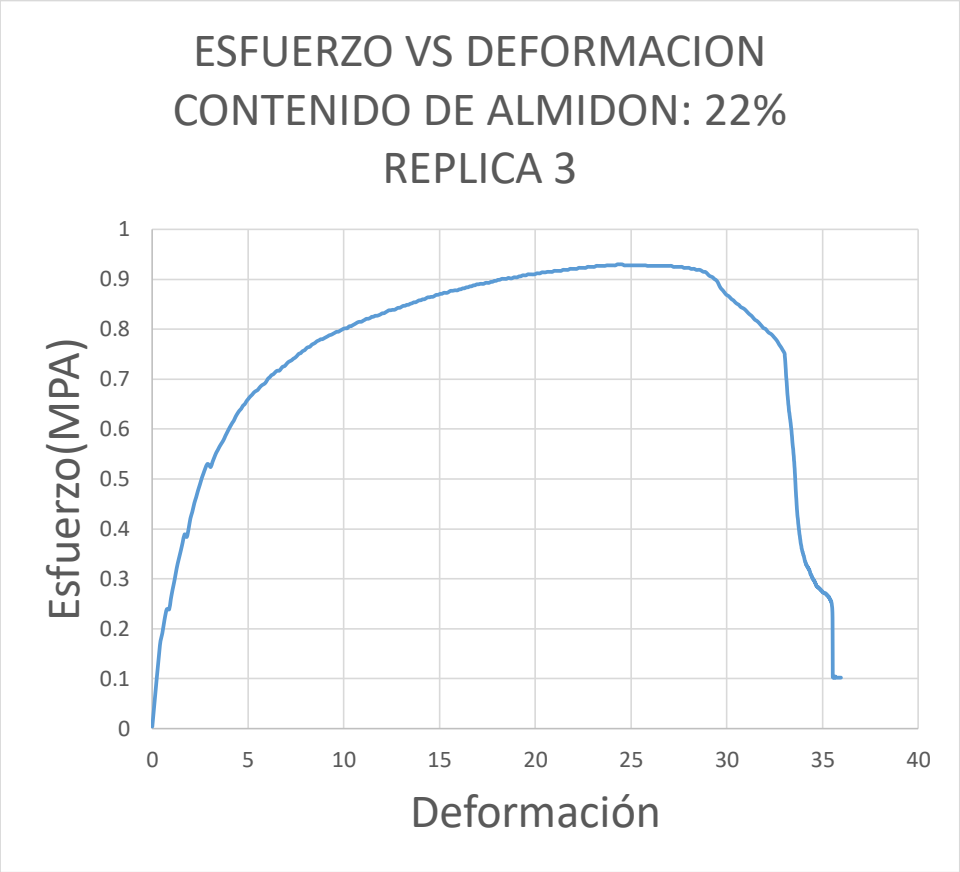


Figura 4.26: Curva Esfuerzo vs Deformación de probeta con contenido de almidón: 22% - Replica 3

Fuente: Elaboración Propia

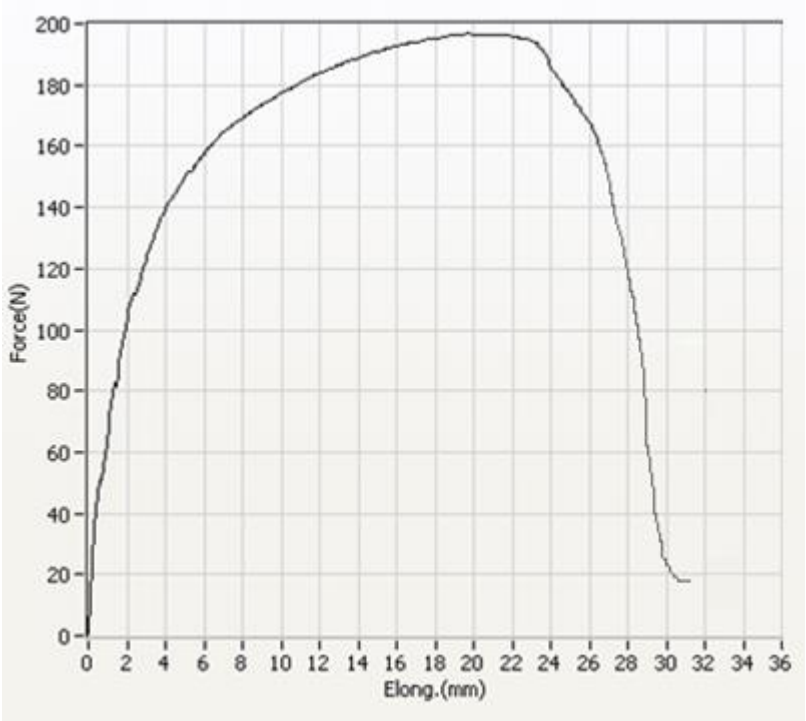


Figura 4.27: Curva Carga vs Elongación de probeta
con contenido de almidón: 22% - Replica 3
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.16: Información obtenida de las Gráfica de probeta
con contenido de almidón: 22% - Replica 3

PROBETA 4 - Replica 3		
ESFUERZO MAXIMO	0.925	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.324	MPA
MODULO DE YOUNG	0.2	GPA
LMITE ELASTICO	0.51	MPA
RESILIENCIA	2.23	J/m^2
CARGA MAXIMA	198	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.3	min
ELONGACION	30	mm
DENSIDAD	0.90	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

4.2.5 CUADROS RESUMEN

4.2.5.1 PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 12%

Tabla 4.17: Resumen Información obtenida de las Gráfica de probeta con contenido de almidón: 12%

	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	
ESFUERZO MAXIMO	0.648	0.701	0.635	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.386	0.286	0.216	MPA
MODULO DE YOUNG	0.017	0.025	0.020	GPA
LMITE ELASTICO	0.5	0.6	0.6	MPA
RESILIENCIA	0.89	0.95	0.99	J/m^2
CARGA MAXIMA	74	75	74	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.3	1.7	1.6	min
ELONGACION	60	50	75	mm
DENSIDAD	1.14	1.15	1.14	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.18: Análisis Estadístico de probeta con contenido de almidón: 12%

	MEDIA	DESVIACION STANDARD
ESFUERZO MAXIMO	0.67	0.05
ESFUERZO DE ROTURA	0.28	0.09
MODULO DE YOUNG	0.02	0.00
LMITE ELASTICO	0.56	0.06
RESILIENCIA	0.94	0.05
CARGA MAXIMA	74.33	0.58
TIEMPO DE ENSAYO	1.51	0.21
ELONGACION	60.00	12.58
DENSIDAD	1.14	0.00

Fuente: Elaboración Propia

PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 15%

Tabla 4.19: Resumen Información obtenida de las Gráfica de probeta con contenido de almidón: 15%

	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	
ESFUERZO MAXIMO	0.919	0.928	0.889	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.813	0.85	0.813	MPA
MODULO DE YOUNG	0.096	0.086	0.089	GPA
LMITE ELASTICO	0.332	0.212	0.182	MPA
RESILIENCIA	2.73	2.45	2.81	J/m^2
CARGA MAXIMA	139	139	139	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	1.3	1.5	1.6	min
ELONGACION	65	74	74	mm
DENSIDAD	1.15	1.16	1.15	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.20: Análisis Estadístico de probeta con contenido de almidón: 15%

	MEDIA	DESVIACION STANDARD
ESFUERZO MAXIMO	0.91	0.02
ESFUERZO DE ROTURA	0.82	0.02
MODULO DE YOUNG	0.09	0.01
LMITE ELASTICO	0.23	0.08
RESILIENCIA	2.65	0.19
CARGA MAXIMA	138.67	0.58
TIEMPO DE ENSAYO	1.46	0.15
ELONGACION	70.74	5.20
DENSIDAD	1.15	0.00

Fuente: Elaboración Propia

PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 19%

Tabla 4.21: Resumen Información obtenida de las Gráfica de probeta con contenido de almidón: 19%

	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	
ESFUERZO MAXIMO	1.359	1.261	1.021	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.289	0.212	0.229	MPA
MODULO DE YOUNG	0.34	0.38	0.40	GPA
LMITE ELASTICO	1.15	1.01	2.10	MPA
RESILIENCIA	10.37	12.37	12.21	J/m^2
CARGA MAXIMA	235	260	256	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	0.55	1.2	1,2	min
ELONGACION	27	25	15	mm
DENSIDAD	1.01	1.02	1.01	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.22: Análisis Estadístico de probeta con contenido de almidón: 19%

	MEDIA	DESVIACION STANDARD
ESFUERZO MAXIMO	1.20	0.17
ESFUERZO DE ROTURA	0.24	0.04
MODULO DE YOUNG	0.37	0.03
LMITE ELASTICO	1.28	0.59
RESILIENCIA	11.58	1.11
CARGA MAXIMA	249.84	13.43
TIEMPO DE ENSAYO	0.75	0.46
ELONGACION	20.88	6.43
DENSIDAD	1.01	0.00

Fuente: Elaboración Propia

PROBETA CON CONTENIDO DE ALMIDON: 22%

Tabla 4.23: Resumen Información obtenida de las Gráfica de probeta con contenido de almidón: 22%

	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	
ESFUERZO MAXIMO	0.93	0.98	0.925	MPA
ESFUERZO DE ROTURA	0.221	0.211	0.324	MPA
MODULO DE YOUNG	0.13	0.15	0.2	GPA
LMITE ELASTICO	0.65	0.60	0.51	MPA
RESILIENCIA	2.14	2.62	2.23	J/m^2
CARGA MAXIMA	197	220	198	Kg-f
TIEMPO DE ENSAYO	0.93	1.1	1.3	min
ELONGACION	25	34	30	mm
DENSIDAD	0.90	0.91	0.90	gr/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.24: Análisis Estadístico de probeta con contenido de almidón: 22%

	MEDIA	DESVIACION STANDARD
ESFUERZO MAXIMO	0.94	0.03
ESFUERZO DE ROTURA	0.24	0.06
MODULO DE YOUNG	0.15	0.04
LMITE ELASTICO	0.58	0.07
RESILIENCIA	2.31	0.26
CARGA MAXIMA	204.47	13.00
TIEMPO DE ENSAYO	1.09	0.19
ELONGACION	36.17	8.50
DENSIDAD	0.90	0.00

Fuente: Elaboración Propia

4.2 ANÁLISIS DE LAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN EN COMPARACIÓN CON EL PORCENTAJE DE ALMIDÓN.

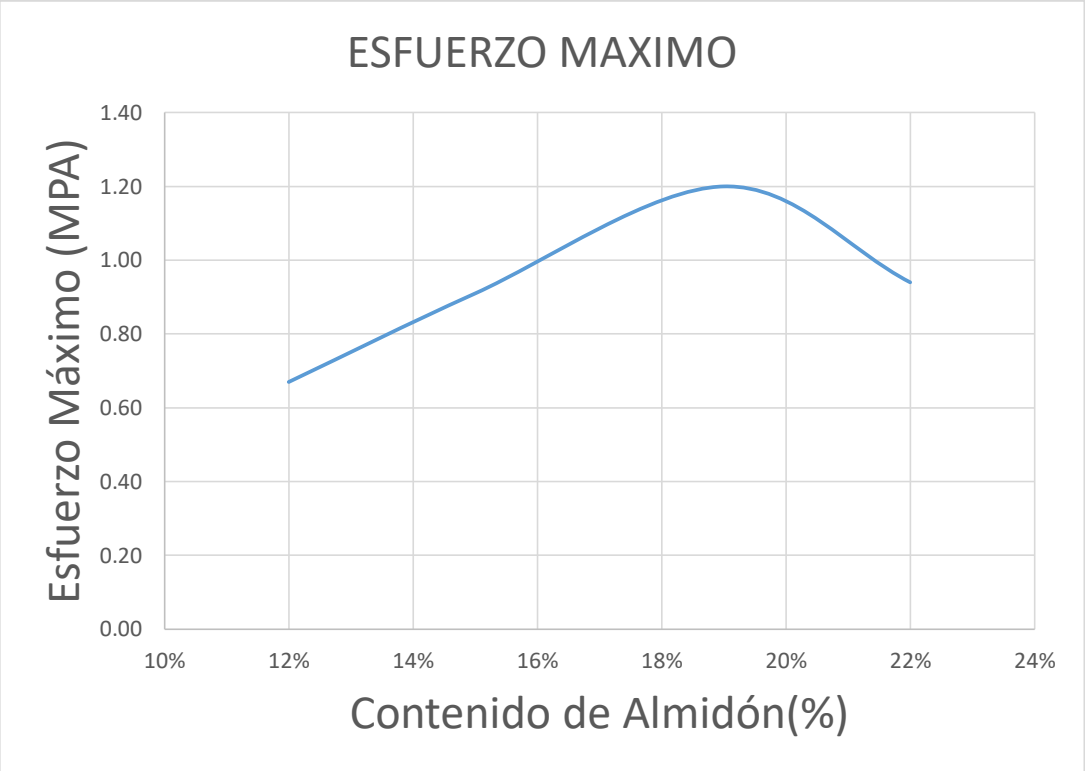


Figura 4.28: Esfuerzo Máximo vs Contenido de Almidón

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La gráfica 4.20 presenta un inicio de la curva cuando la concentración de almidón es de 7.5 gr el cual nos dio como resultado 0.64 MPA luego asciende al aumentar el contenido de almidón a 10gr dando como resultado 0.9 MPA, al incrementar aún más el contenido de almidón a 12.5 nos da como resultado un esfuerzo de 1.35 MPA al incrementarse más aun el contenido de almidón a 15 gr se obtiene una caída del esfuerzo a 0.93.

Este comportamiento es debido al aumento de almidón en el biopolímero el cual al incrementar su contenido hace más duro el biopolímero logrando mejores propiedades, pero esta desciende ya que hay una sobresaturación del almidón dentro del compuesto originando un choque y movimiento excesivo entre las moléculas de almidón durante su hinchamiento.

Esta grafica nos permite determinar cuánto podría soportar dicho biopolímero al ser sometido a un esfuerzo.

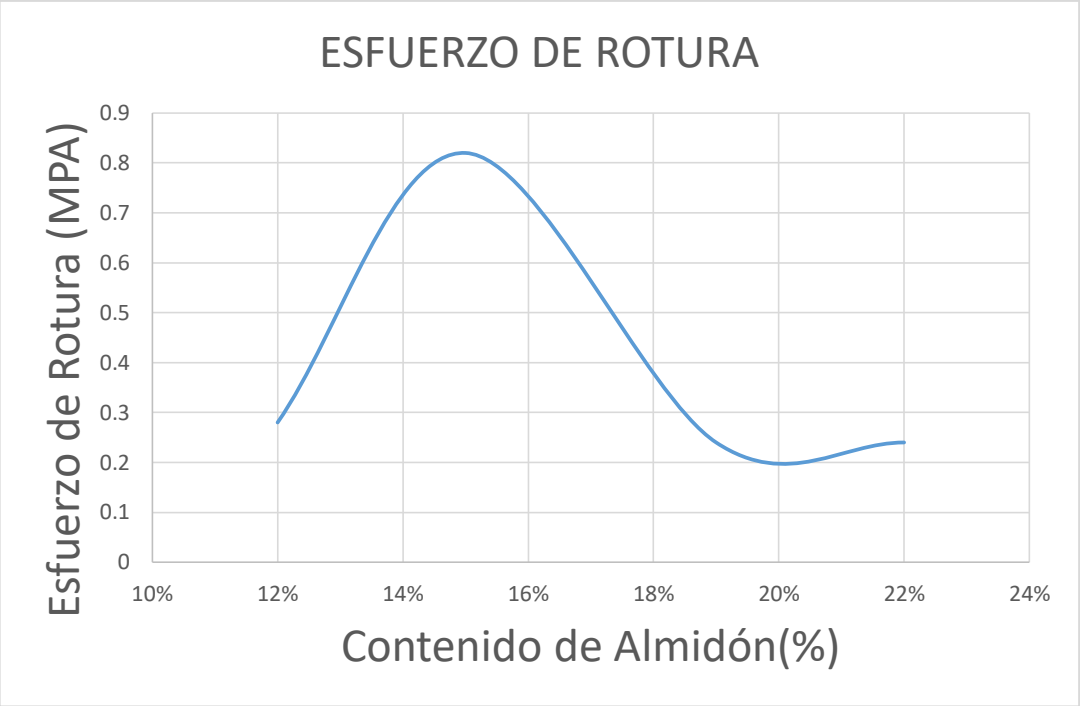


Figura 4.29: Esfuerzo de Rotura vs Contenido de Almidón

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Podemos observar en la figura 4.21 que la curva primero asciende al incrementarse el contenido de almidón de 7.5gr a 10 gr así como su esfuerzo de rotura de 0.38MPA a 0.81MPA respectivamente, y luego desciende rápidamente, al seguir incrementando el contenido de almidón a 12.5gr y 15gr dándonos como esfuerzo de rotura 0.29MPA y 0.22MPa,

Dicha curva nos indica que el valor máximo de esfuerzo de rotura es de 0.813MPA el cual es obtenido debido al poco contacto entre moléculas de almidón dentro del biopolímero, a mayor contenido de almidón en el compuesto, se obtiene un biopolímero más plástico, ya que las moléculas de almidón al ser demasiadas dentro del biopolímero generan una plastificación logrando que el esfuerzo de rotura sea mínimo hasta antes de romperse.

De la figura podemos inferir en qué momento se fracturar o fallara el biopolímero después de entrar en una zona plástica.

El polímero es moldeable teniendo en cuenta los tiempos necesarios de secado.

Figura 4.30: Resiliencia vs Contenido de Almidón

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La figura 4.23 nos muestra un ascenso en la curva de resiliencia al aumentar el contenido de almidón desde 7.5 gr, 10gr y 12.5 gr teniendo como resultado 0.89 J/m^2,2.73 J/m^2 y 10.37 J/m^2 luego desciende drásticamente a 2.14 J/m^2 al aumentar el contenido de almidón hasta 15 gr.

La figura 4.23 nos muestra que hay un exceso de almidón en el biopolímero, impidiendo que este siga absorbiendo energía hasta llegar a su límite elástico.

Esta Figura demuestra una comparación de la energía absorbida por el biopolímero hasta antes de entrar a la zona plástica

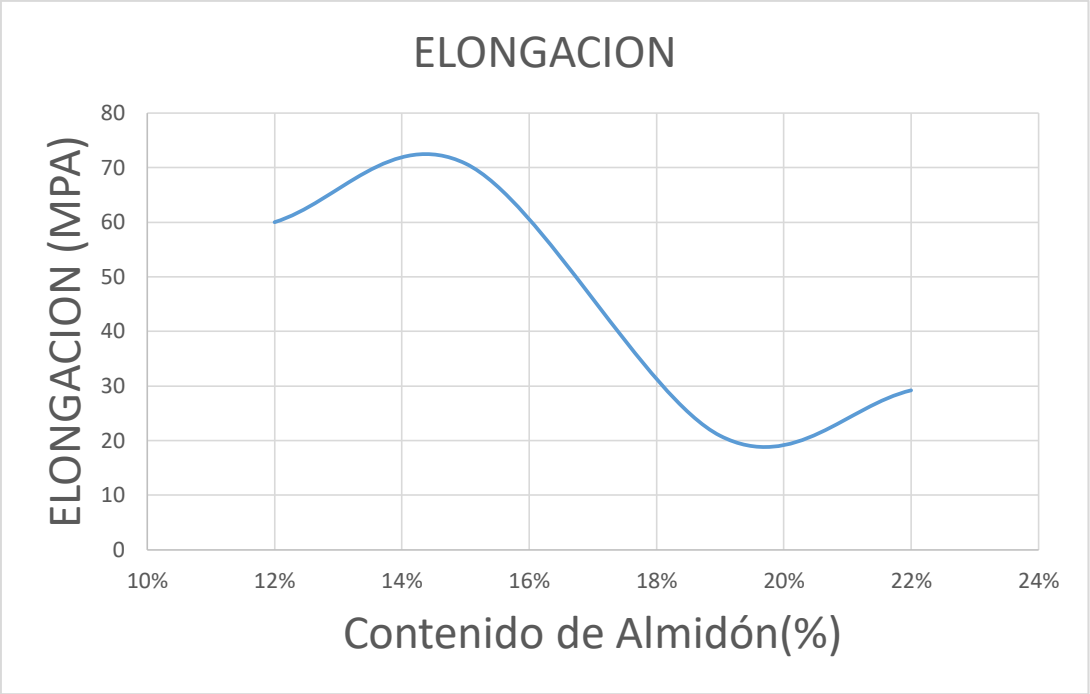


Figura 4.31: Elongación vs Contenido de Almidón

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la gráfica 4.24 nos muestra un leve ascenso cuando aumenta el contenido de almidón de 7.5gr a 10 gr para luego caer al aumentar a 12.5 gr y 15 gr los resultados que se obtuvieron fueron al inicio 60 mm 67 mm y luego descendió a 27 mm y 47 mm respectivamente

Esta curva nos determina el efecto del aumento de contenido de almidón el cual hace que el biopolímero sea más rígido y duro, haciendo que pierda su propiedad de elongación

Dicha figura nos permite saber si el biopolímero experimentara deformaciones al momento de ponerse en servicio

4.3 RELACION DEL PROCENTAJE DE ALMIDON CON SU DENSIDAD

Se tomó la densidad de todas las probetas para determinar si había un cambio significativo al cambiar el contenido de almidón.

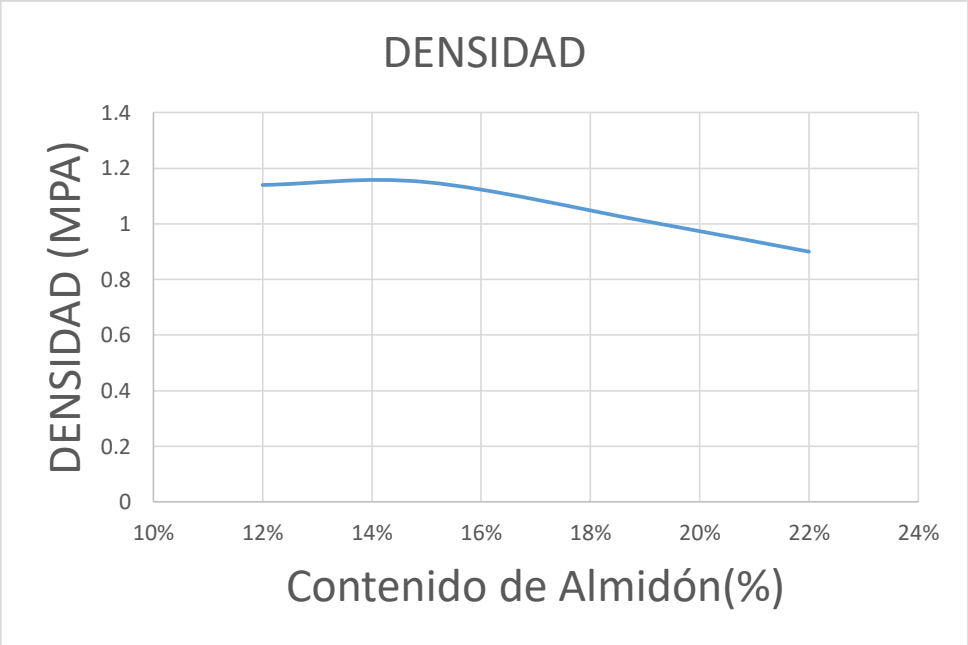


Figura 4.32: Densidad vs Contenido de Almidón

Fuente: Elaboración Propia

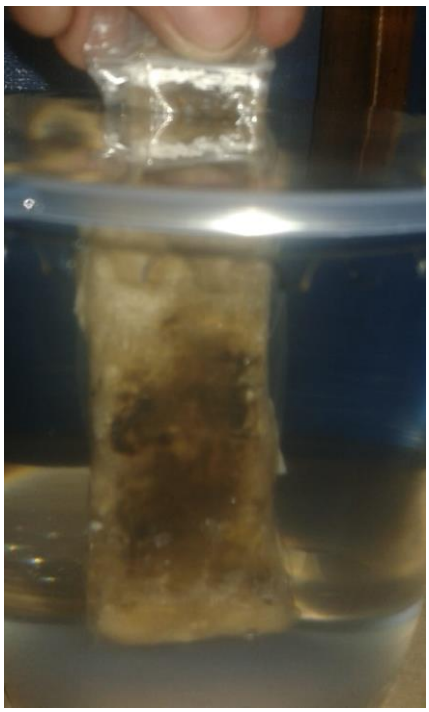


Figura 4.33: Determinación del Volumen mediante desplazamiento de agua mediante la inmersión de la probeta

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la figura 4.33 se realizó el procedimiento de inmersión de la probeta en agua para determinar su volumen y así calcular su densidad.

En la figura 4.32 observamos un descenso al incrementarse el contenido de almidón desde 7.5 gr, 10 gr, 12.5 gr y 15gr los cuales dieron como densidades 1.16 gr/cm^3 1.15 gr/cm^3 1.01 gr/cm^3 0.9 gr/cm^3.

Dicha figura nos demuestra que el incremento de contenido de almidón disminuye la densidad del biopolímero esto debido al hinchamiento del almidón el cual genera mayor volumen.

Esta gráfica nos permite saber q relación existe entre su peso y volumen ya que puede ser un factor determinante para ponerse en servicio.

4.4 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL BIOPOLIMERO CON OTROS POLIMERO.

A continuación, se hizo una comparación de las propiedades halladas del biopolímero con las propiedades de polímeros que se encuentran en el mercado, en este caso utilizamos los polímeros. Polipropileno y Polietileno para comparar sus propiedades.

4.4.1 PoliPropileno

Es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, del grupo de las poliolefinas y es utilizado en la industria en forma de empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

4.4.1.2 Propiedades Mecánicas de PoliProileno

Tabla 4.25: Propiedades Mecánicas de Polipropileno

DENSIDAD	0.9 gr/cm3
MODULO DE YOUNG	1.4 GPA
% ELONGACION	100

Fuente: www.ub.edu/cmematerials/es/content/polipropileno

4.4.2 PoliEtileno

Es un polímero termoplástico, resistente al impacto y opaco blanquecino; muy ligero, sus aplicaciones principales son la fabricación de envases, como aislantes térmicos en construcción, coquillas de protección en embalajes, producción de cajas aislantes.

4.4.2.2 Propiedades Mecánicas de Polietileno

Tabla 4.26: Propiedades Mecánicas de Polietileno

DENSIDAD	1.04 gr/cm3
MODULO DE YOUNG	3 GPA
% ELONGACION	1.5%

Fuete: https://villalbaestano.wordpress.com/el-poliestireno/

A continuación, graficaremos la comparación del biopolímero obtenido en comparación con los polímeros que se encuentran en el mercado.

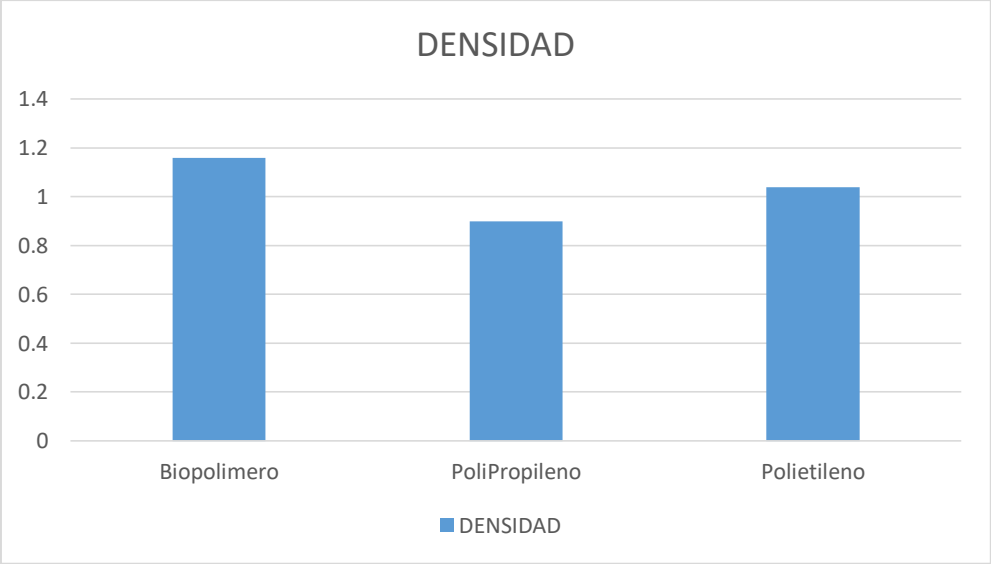


Figura 4.34: Densidad vs Polímeros

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La Figura 4.27 nos muestra la comparación de la densidad del biopolimero botenido en comparación con el Polipropileno y el poliestirneo los cuales podemos observar tienen una densidad parecida.

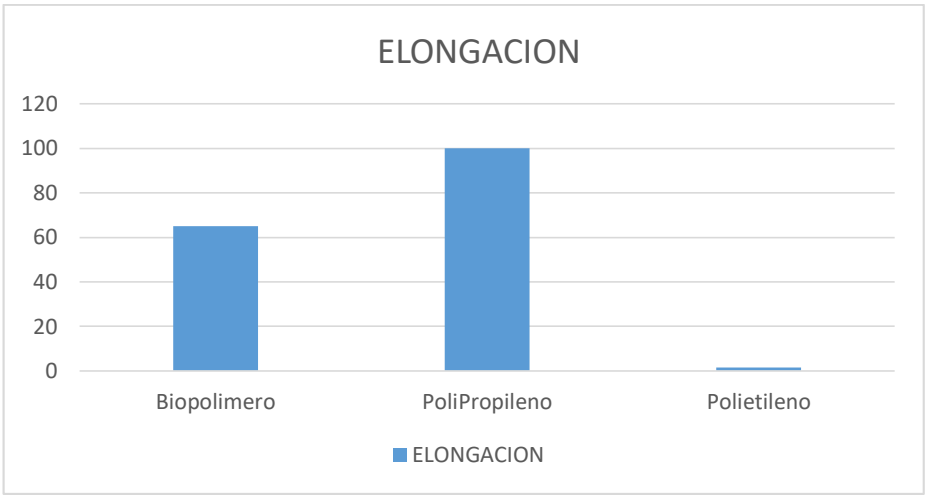


Figura 4.35: Elongación vs Polímeros

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La figura 4.28 nos muestra una alta elongación en el polipropileno seguido del biopolímero obtenido y con mayor diferencia el polietileno, el biopolímero tiene una elongación media con referencia a estos dos polímeros que se usan en el mercado.

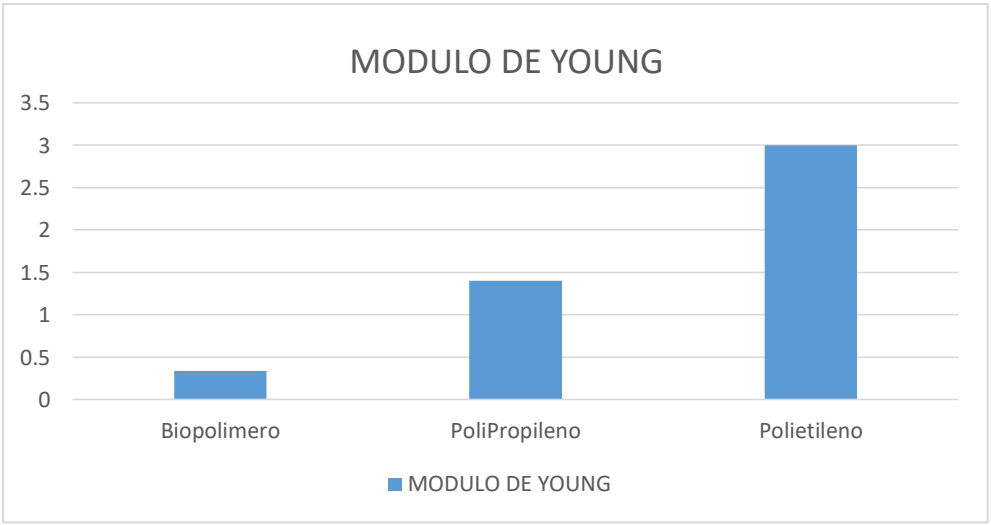


Figura 4.36: Módulo de Young vs Polímeros

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la Figura 4.29 observamos los módulos de Young de polipropileno y etileno en comparación con el biopolímero obtenido, demostrando que tiene un bajo módulo de Young, por lo que podemos concluir que el biopolímero necesita un reforzante como una fibra o un nuevo aditivo como el quitosano para obtener mejores propiedades mecánicas.

4.4.3 OTROS BIOPOLÍMEROS

Se encontró el biopolímero con almidón extraído a partir de yuca, el cual nos mostró el siguiente resultado

Polímero	Esfuerzo máximo (MPa)
Placa 7 Almiyuca 2	0,456
Placa 7 Almiyuca 1	0,588
Placa 16 Almiyuca 2	0,353
Placa 16 Almiyuca 1	0,208
Lámina 7 Almiyuca 2	3,249
Lámina 7 Almiyuca 1	2,521

Figura 4.37: Esfuerzo Máximo de diferentes composiciones de un biopolímero a base de almidón de Yuca

Fuente: SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIRDEL ALMIDÓN DE YUCA Revista EIA, núm. 8, diciembre, 2007, pp. 57-67Escuela de Ingeniería de Antioquia Envigado, Colombia

4.5 PRUEBA DE ESPECTROSCOPIA INFRAROJA

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de espectroscopia infrarroja de la escuela de Química con ayuda de la Dra. Corina Vera

En el espectro obtenido del almidón se observaron señales a números de onda de 1151.29, 1104.38, 1078.16, 1025.64 cm-1, que son atribuidas a los estiramientos de los enlaces C-O. Otras señales de absorción características se observaron a 927.05, 880.95, 760.18cm-1 debido a las vibraciones de estiramiento del anillo de anhidroglucosa. La señal observada a 2922.83 cm-1 corresponde a las vibraciones de los enlaces C-H de los grupos metilos y la banda amplia que aparece a 3319.07 cm-1 es debida a los estiramientos de los enlaces H-O de los grupos hidroxilos presentes en la molécula de almidón.

En la composición química del biopolímero cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina.

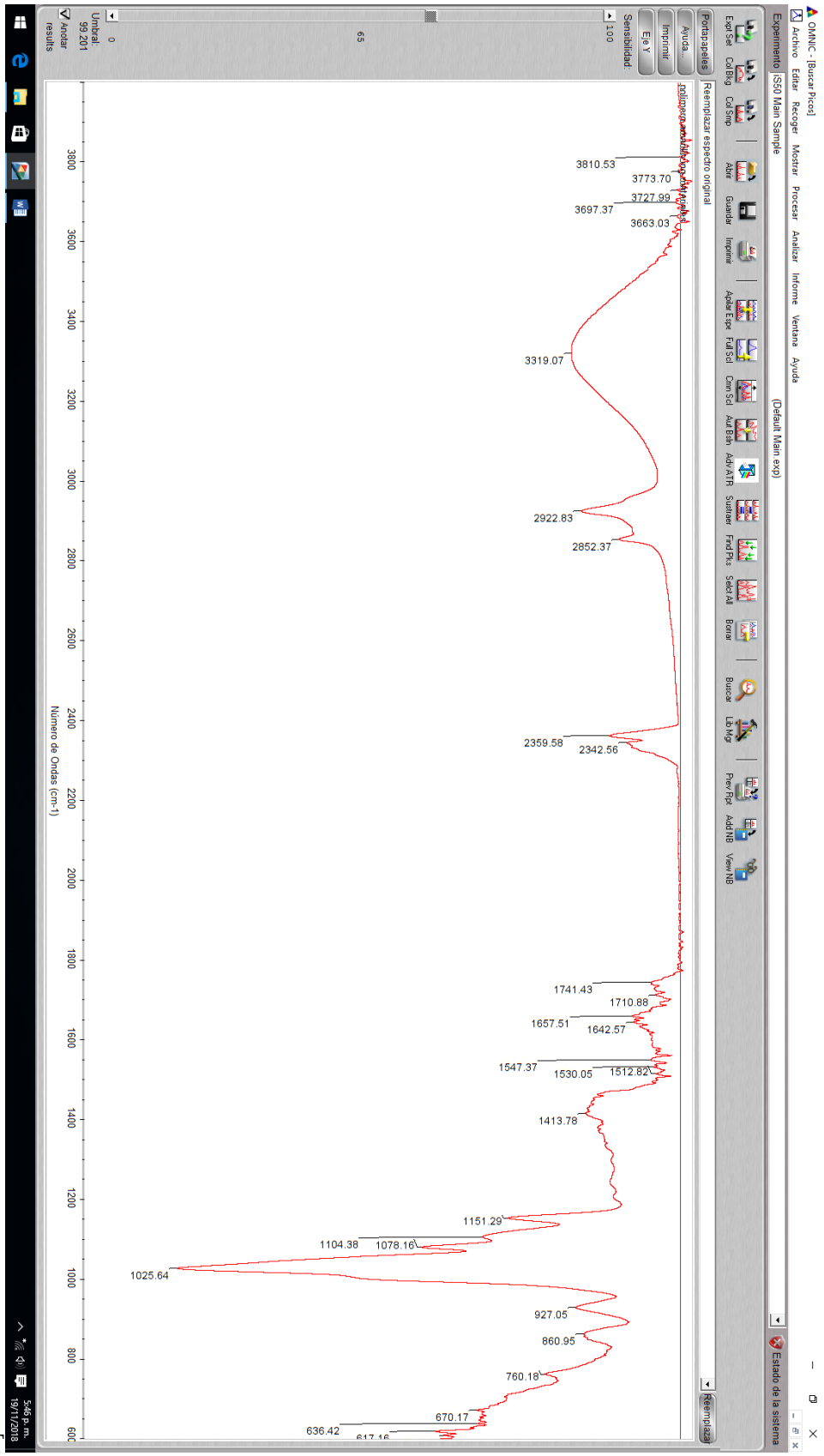


Figura 4.38: Espectros Infrarrojos de una muestra de biopolímero con 12% de contenido de almidón

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. Se determinó las proporciones y el método más apropiado para elaborar un biopolímero a partir del almidón de plátano, la fabricación y secado del bioplástico se llegaron a realizar con ciertas complicaciones. La mayor complejidad del proyecto fue la extracción del almidón de la cáscara de plátano, ya que requería de diferentes procedimientos para su obtención, así como la etapa de mezclado que requirió cierto trabajo mecánico para luego secar. El procedimiento esta detallado en la página 27

2. El efecto que se obtuvo al incrementar el almidón fue la mejora de propiedades mecánicas pero una disminución de la elongación en el compuesto. Esto ocurre al interactuar el almidón, el agua y la glicerina, que durante la gelatinización el agua penetra inicialmente en las regiones amorfas iniciando el hinchamiento, luego el agua desaloja las cadenas de almidón desde la superficie de los cristales a medida que la temperatura aumenta; la movilidad térmica de las moléculas produce que las fuerzas de hinchamiento tengan una disminución de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular es fragmentada casi completamente obteniéndose un biopolímero.

3. Utilizando cuatro formulaciones elaboradas a partir de almidón de plátano se logró sintetizar un bioplástico, el cual dio un material con una resistencia tensil media cuando aumento la concentración del almidón hasta aproximadamente los 12.5 gr, pudiendo ser utilizado como empaques y contenedores de alimentos, sin exponerse a altas temperaturas- El bioplástico obtenido presentó propiedades físicas medias en comparación con otros polímeros.

4. Se compararon las pruebas para determinar la mezcla más óptima para desarrollar un biopolímero, dando como resultado a la probeta 2 y 3 las cual tienen 10 gr y 12.5 gr de contenido de almidón e respectivamente, esto ocurre porque se logra una buena combinación de los componentes que estamos usando, ya que al incrementar demasiado el almidón, comienza a perder propiedades, inclusive puede llegar a cuartearse el biopolímero por la falta de agua en el compuesto, caso contrario si es muy baja las sus propiedades son deficientes.

RECOMENDACIONES

- Realizar más pruebas de ensayos mecánicas
- Realizar pruebas de degradación
- Modificar más variables para ver el efecto de estas en la mezcla
- Incluir en la mezcla quitosano para aumentar sus propiedades mecánicas
- Incluir fibras textiles como reforzantes para aumentar las propiedades mecánicas

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón Cavero, Hugo Arturo1,2 * y Arroyo Benites, Edmundo1 (2016), Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa, Lima[17]
- Álvarez, J. V. (2014). Bioplásticos: efectos e impactos sobre la gestión de los envases. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid - Cátedra ECOEMB.
- Armando Romero, C. (2014). Tendencias de la producción y el comercio del banano en el mercado internacional y nacional. Lima: MINAGRI - DGPA.
- Arroyo, E; Alarcón, H. (2013). Obtención, caracterización y análisis comparativo de polímeros biodegradables a partir de yuca, papa y maíz. Universidad de Lima. Lima.[2]
- Ballesteros Paz, L. V. (2014). Biblioteca Digital. Consultada en: http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2247/1/Los%20Biopl %C3% A1sticos_Laura%20Ballestero_USBCTG_2014.pdf
- Biorenewable Resources and Technology Department. (2011). Biorenewables Education Laboratory: Bioplastics (en línea). Iowa State University of Science and Technology. Lowa, EEUU. Consultado el 30 mar. 2014. Disponible en http://issuu.com/beiisu/docs/labhandout-bioplasticsstudent
- Castellon, H. (2014). Plásticos oxo-biodegradables vs. Plásticos biodegradables.[13]
- Castillo, A; Iñiguez, A. (2011). Obtención del ácido láctico a partir del almidón de papa (Solanum tuberosum L), como materia prima para la fabricación de material descartable biodegradable. Tesis Ing. Amb. Cuenca, EC. Universidad Politécnica Salesiana: Sede Cuenca.
- Castillo, et al. (2015). Bioplástico a base de la cáscara del plátano. Revista de Iniciación Científica
- Chariguaman C, J. A. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá . Escuela Agricola Panamericana.
- Corrales, C.M.; Meneses, J. y Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de Yuca. Revista EIA no. 8: 57-67.[16]

- De la Rosa Martínez, A. F., & Núñez Solís, A. C. (2014). Obtención de una película de bioplástico a partir del colágeno de las patas de pollo. Quito: Universidad Central Del Ecuador
- Ecoembes (Ecoembalajes España). (2009). Proyecto de Análisis de Bioplástico: Resumen Ejecutivo.
- Edmundo Arroyo / Hugo Alarcón (2013), Obtencion y caracterización de polímeros biodegradables a partir del almidón de papa, yuca y maíz Lima Perú.[2]
- Faostat.(2001). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Database. Roma, Italy
- García Quiñónez, A. V. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. Santa Tecla: Enero.
- Gladys Ruiz Avilés, (2006), obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca, Medellin Colombia[18]
- Hahn-Hiigerdal, (1996(B.Fermentation of lignocellulosic hydrolysates forethanol production. Enzyme and Microbial Technology 18:312-331 pag
- Lambis, H. H. (2016). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/303541238_Extraccion_de_almido n_a_pa rtir_de_residuos_de_piel_de_platano
- Meza Ramos, N. P. (2016). Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. Perú.
- Pacheco Gina, F. N.-S. (2014). Bioplásticos. México D.F: Universidad Nacional Autónomade México.[11][14]
- Read, D. (2008). Plastics from potatoes: Practical demonstration (en línea). University of Southampton, School of Chemistry. Southampton, UK.
- REMAR - Red Energía y Medio Ambiente, ES. (2011). Bioplástico: Certificación y normativa. (Guía práctica no. 2).[10]
- Salvador García Liñán (2015), Contaminación por el plástico Disponible en: http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-por-el-plastico[7]

- Saraiva, A.F. (2012). Estudo da biodegradabilidade de bioplástico numa cultura de ciclo curto – Melão (Cucumis melo L. var. inodorus N.). Tesis Mag. Ing. Amb. Lisboa, PT. Universidad Técnica de Lisboa.
- Seymour B. raimond (1995), “Introduccion a la Química de Polímeros”, Barcelona[4]
- Sperling L.H., (2006) Introducción a la Física de Ciencia de Polímeros3er edi. New Jersey[6]
- Sweeney, B. (2008). Make Your Own Bioplastic (en línea). Revisado 1 abr 2014. Disponible en http://green-plastics.net/posts/10/video-brandon121233/
- Terry L. Richardson, E. L. (1999). Industria del plástico. ee.uu: Ediciones Paraninfo, S.A.[12]
- Torres, F.G; Amaya, E .; Díaz, D.A .; Torres, C .; Troncoso, O.P. (2011). Biodegradabilidad y propiedades mecánicas de películas de almidón de cultivos andinos. Revista internacional de macromoléculas biológicas 48: 603–606[15]
- Valarezo Ulloa, María José. (2012). Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca[1]

ANEXOS

Universidad Católica de Santa María
(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ucsm@ucsm.edu.pe http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350
AREQUIPA - PERÚ

CENTRO DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA EPIMMEM-UCSM

REPORTE DE ANÁLISIS

Código: TP-162/165

Fecha de Ejecución de ensayo: 23/07/2018

DATOS DEL CLIENTE

CLIENTE:

MATERIAL A ENSAYAR: Compuesto de almidón

RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación se detalla los resultados:

Cód. Muest.	Ensayo/Propiedad	Resultado	Observaciones
TP-162	Cod. 5 Tracción del compuesto	0.280 MPa	T° de trabajo 19.6 °C, velocidad 50 mm/min
TP-163	Cod. 7.5 Tracción del compuesto	0.385 MPa	T° de trabajo 19.6 °C, velocidad 50 mm/min
TP-164	Cod. 10 Tracción del compuesto	0.144 MPa	T° de trabajo 19.6 °C, velocidad 50 mm/min
TP-165	Cod. 12 Tracción del compuesto	0.664 MPa	T° de trabajo 19.6 °C, velocidad 50 mm/min

Preparación de muestra:

Las probetas fueron preparadas por el cliente, de acuerdo a la norma.

Arequipa, 23 de julio del 2018

BOLETA N°: B005-00000097

Ensayo ejecutado por: Ing. Emilio Chire R.

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - LEM - U.C.S.M.

ING. EMILIO CHIRE RAMIREZ
COORDINADOR DEL LABORATORIO
N° REG. CIP 23235

Designation: D 638 – 02a

Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics[1]

This standard is issued under the fixed designation D 638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method can be used for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, Test Methods D 882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) must be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This test method and ISO 527-1 are technically equivalent.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D 229 and Test Method D 651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus >20-GPa (>3.0 × 10^6-psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D 3039/D 3039M.

1.4 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation[2]

D 412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension[3]

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing[4]

D 651 Test Method for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials[5]

D 882 Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting[4]

D 883 Terminology Relating to Plastics[4]

D 1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials[4]

D 3039/D 3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials[6]

D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials[7]

D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials[7]

D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens[8]

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines[9]

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer[9]

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature[9]

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to

[1] This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved November 10, 2002. Published January 2003. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2002 as D 638 – 02.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 09.01.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

[5] Discontinued; see *1994 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

[6] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

[7] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

[8] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.03.

[9] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

***A Summary of Changes section appears at the end of this standard.**

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Determine the Precision of a Test Method[10]

2.2 *ISO Standard:*

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties[11]

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D 883 and Annex A2.

4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.2.1 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, the greatest care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care must be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted, generally accepted definition to describe the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

4.4 *Poisson's Ratio*—When uniaxial tensile force is applied to a solid, the solid stretches in the direction of the applied force (axially), but it also contracts in both dimensions lateral to the applied force. If the solid is homogeneous and isotropic, and the material remains elastic under the action of the applied force, the lateral strain bears a constant relationship to the axial strain. This constant, called Poisson's ratio, is defined as the negative ratio of the transverse (negative) to axial strain under uniaxial stress.

4.4.1 Poisson's ratio is used for the design of structures in which all dimensional changes resulting from the application of force need to be taken into account and in the application of the generalized theory of elasticity to structural analysis.

NOTE 6—The accuracy of the determination of Poisson's ratio is usually limited by the accuracy of the transverse strain measurements because the percentage errors in these measurements are usually greater than in the axial strain measurements. Since a ratio rather than an absolute quantity is measured, it is only necessary to know accurately the relative value of the calibration factors of the extensometers. Also, in general, the value of the applied loads need not be known accurately.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

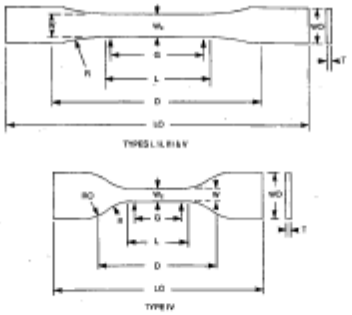
5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used extreme care should be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. The serrations

[10] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

[11] Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.



Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm (in.)[A]

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV[B]	Type V[C,D]	
W—Width of narrow section[E,F]	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02)[B,C]
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02)[C]
WO—Width overall, min[G]	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+6.4 (+0.25)
WO—Width overall, min[G]	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+3.18 (+0.125)
LO—Length overall, min[H]	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length[I]	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010)[C]
G—Gage length[I]	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)[J]	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04)[C]
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

[A] Thickness, *T*, shall be 3.2± 0.4 mm (0.13 ± 0.02 in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, *T*, may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to 14 ± 0.4 mm (0.55 ± 0.02 in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

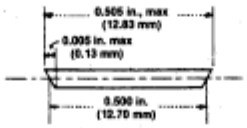
[B] For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be 6.00 ± 0.05 mm (0.250 ± 0.002 in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D 412.

[C] The Type V specimen shall be machined or die-cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:
W = 3.18 ± 0.03 mm (0.125 ± 0.001 in.),
L = 9.53 ± 0.08 mm (0.375 ± 0.003 in.),
G = 7.62 ± 0.02 mm (0.300 ± 0.001 in.), and
R = 12.7 ± 0.08 mm (0.500 ± 0.003 in.).
The other tolerances are those in the table.

[D] Supporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D 1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1038.

[E] The width at the center W_c shall be +0.00 mm, −0.10 mm (+0.000 in., −0.004 in.) compared with width *W* at other parts of the reduced section. Any reduction in *W* at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

[F] For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:



[G] Overall widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

[H] Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

[I] Test marks or initial extensometer span.

[J] When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics

specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type IV specimen should be used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and

semirigid). The Type III specimen must be used for all materials with a thickness of greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.2 *Nonrigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type IV specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less. The Type III specimen must be used for all materials with a thickness greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.3 *Reinforced Composites*—The test specimen for reinforced composites, including highly orthotropic laminates, shall conform to the dimensions of the Type I specimen shown in Fig. 1.

6.1.4 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 14 mm (0.55 in.) must be machined to 14 mm (0.55 in.) for use as Type III specimens. Specimens can also be prepared by molding the material to be tested.

NOTE 9—Test results have shown that for some materials such as glass cloth, SMC, and BMC laminates, other specimen types should be considered to ensure breakage within the gage length of the specimen, as mandated by 7.3.

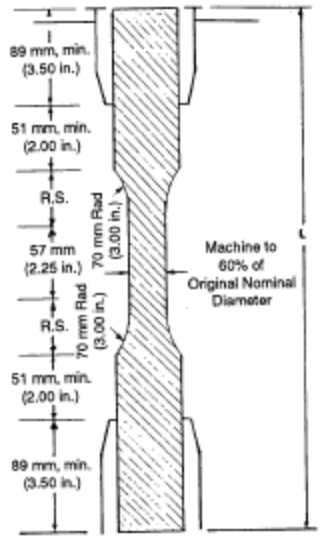
NOTE 10—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement. The reinforcement will be significantly weakened by cutting on a bias, resulting in lower laminate properties, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

NOTE 11—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 *Rigid Tubes*—The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after machining shall be 60 % of the original nominal wall thickness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm (1 in.) shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located conveniently in the tube by separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 *Rigid Rods*—The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 % of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter.

6.4 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes



DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, *L*, of Specimen to Be Used for 89-mm (3½-in.) Jaws[A]
	mm (in.)		
3.2 (⅛)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
4.7 (⅜₆)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
6.4 (¼)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
9.5 (⅜)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
12.7 (½)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
15.9 (⅝)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
19.0 (¾)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
22.2 (⅞)	51.5 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
25.4 (1)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)
31.8 (1¼)	60.9 (2.396)	396 (15.58)	419 (16.5)
38.1 (1½)	66.4 (2.615)	403 (15.87)	419 (16.5)
42.5 (1¾)	71.4 (2.812)	406 (16.06)	419 (16.5)
50.8 (2)	76.0 (2.993)	412 (16.24)	432 (17)

[A] For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 3 Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine

shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.