



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA

**“FABRICACIÓN DE MATERIAL BIOPOLIMÉRICO  
EN BASE A RESIDUOS ORGÁNICOS EXISTENTES EN  
LA REGIÓN DEL MAULE”**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROF(ES). GUÍA (S): GONZALO PINCHEIRA  
DIÓGENES HERNÁNDEZ

**SEBASTIÁN IGNACIO COFRÉ ORELLANA**

**CURICÓ - CHILE**

2020

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures are present. The left stamp is blue and contains the text "UNIVERSIDAD DE TALCA", "DIRECCIÓN", and "SISTEMA DE BIBLIOTECAS". A signature is written over it. The right stamp is grey and contains the text "SISTEMA DE BIBLIOTECAS", "CAMPUS CURICO", and the university logo. A signature is written over it.

Curicó, 2022

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer a todas las personas que de alguna manera u otra fueron partícipes y me acompañaron en esta etapa de formación profesional.*

*Primero agradecer a mi familia, mis padres, hermanos, por su incondicional apoyo en todo ámbito para poder desempeñar una gran lucha en la formación estudiantil, sin ellos nada de esto sería posible.*

*También quiero agradecer a mis tutores y profesores partícipes en el desarrollo teórico y práctico de esta memoria, profesor Gonzalo Pincheira y profesor Diógenes Hernández, quienes con sus conocimientos, vocación, y gran disposición cuando lo necesite, lograron guiarme, corregirme para un correcto desempeño en la investigación.*

*De igual forma quiero agradecer al profesor Diego Gormaz por su paciencia y dedicación, siendo él quien me ayudo en todos los aspectos formales y de organización que respectan a un informe de nivel universitario.*

*Y por último agradecer a mi pareja, quien me contuvo en los momentos que los necesite, a mis amigos y compañeros de universidad con quien forme grandes lazos y pase muy buenos momentos en esta época de mi vida.*

## DEDICATORIA

*Dedicado a mis padres*

*Mauricio Cofré y Praxedes Orellana*

*Y a mis hermanos*

*Víctor Cofré y Nelson Cofré*

*Todo lo que soy hoy en día se los debo a ustedes.*

## RESUMEN

El uso indiscriminado de plásticos en la actualidad, el incremento acelerado de la generación de residuos de estos mismos plásticos derivados del petróleo, el aumento en el precio de este recurso no renovable y la no conciencia de reciclaje ambiental que existe a nivel mundial traen consigo la contaminación al medio ambiente, el cual es un problema a estas alturas a nivel global.

Es en este punto donde surgen nuevas oportunidades para remediar dicha problemática, como lo es la fabricación de un nuevo material de naturaleza 100% orgánica, capaz de ser degradado en un tiempo menor a los polímeros sintéticos.

Esta investigación consiste en obtener un biopolímero plástico, con características similares a las de los plásticos convencionales. Para ello se decide elegir el almidón como elemento base para los materiales a fabricar, ya que el almidón, es uno de los biopolímeros naturales más baratos y abundantes debido a su fácil obtención a partir de diversas fuentes vegetales (trigo, maíz, papa). Y como materiales complementarios se utilizan los desechos del tomate y la manzana, como ingredientes que permitirían potenciar a la región del Maule, en esta área.

El proceso de fabricación del biomaterial es muy sencillo, y la calidad del mismo varía según la naturaleza de los ingredientes que lo componen. Como reactivos se utilizan vinagre blanco, glicerina y agua. A los biopolímeros obtenidos se les realizaron ensayos de tracción y control de biodegradación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	3
1.4 OBJETIVOS .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	3
1.5 RESULTADOS ESPERADOS .....	4
1.6 METODOLOGÍA.....	4
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
2.1 Definición de biopolímeros.....	7
2.2 Tipos de biopolímeros utilizados en la actualidad .....	7
2.2.1 Acido poli láctico (PLA).....	9
2.2.2 Polihidroxicarbonatos .....	9
2.3 Avances en plásticos biodegradables.....	10
2.3.1 En Chile .....	10
2.3.2 En Latinoamérica.....	11
2.4 Materiales bases utilizados para la fabricación de biopolímeros extraídos de biomasa ..	12
2.4.1 Celulosa.....	12
2.4.2 Almidón .....	13
2.4.3 Quitosano .....	15
2.4.4 Carrejenina .....	15

2.4.5 Caseína.....	16
2.5 Materiales aditivos utilizados para la fabricación de un biopolímero .....	16
2.5.1 Glicerina.....	16
2.5.2 Vinagre.....	17
2.5.3 Agua.....	18
2.5.4 Pulpas de desechos orgánicos .....	18
2.5.4.1 Manzana (cáscara y desechos).....	19
2.5.4.2 Tomate (cáscara y desechos).....	19
2.6 Caracterización.....	20
2.6.1 Propiedades Mecánicas: Ensayo de tracción a Film plástico.....	20
2.6.1.1 Maquinaria a utilizar para la caracterización del material .....	21
2.6.1.2 Propiedades Obtenidas del ensayo de tensión .....	24
<b>CAPÍTULO 3.    DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>27</b>
3.1 Selección de materiales.....	28
3.2 Materiales.....	29
3.2.1 Materiales para bio-plástico .....	29
3.2.1 Materiales de laboratorio .....	31
3.2.2 Proporciones utilizadas .....	32
3.3 Experimentación y desarrollo de muestras .....	33
3.3.1 Etapa 1: Familiarización con los materiales .....	34
3.3.2 Etapa 2: Desarrollo de las muestras con receta y proporciones establecidas.....	35
3.4 Resultados de los materiales y sus variantes.....	38
3.4.1 Etapa 1 .....	39
3.4.2 Etapa 2 .....	42
3.5 Metodología para el Control de degradación .....	45
3.6 Estandarización de las muestras .....	45
3.6.1 Muestras ensayos de tracción.....	46
3.6.2 Muestras control de degradación.....	47
<b>CAPÍTULO 4.    RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1 Resultados de los ensayos de tracción .....	49
4.2 Resultados del control de degradación .....	52

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	59
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	68
CONCLUSIONES .....	69
Referencias .....	72
Anexo 1 Ilustraciones muestras de biopolímeros realizados en la etapa 1 .....	74
Anexo 2 Ilustraciones muestras de biopolímeros realizados en la etapa 2 .....	79
Anexo 3 Memoria de cálculo en biopolímeros c2-d3-f1-f2-g2.....	82
Biopolímero de Manzana C2 .....	82
Biopolímero de Tomate D3 .....	83
Biopolímero de Manzana F1, modificación pulpa desecho.....	84
Biopolímero de Tomasa F2, MODIFICACIÓN PULPA DESECHO.....	85
Biopolímero de Manzana g2, modificación % glicerina .....	86
Anexo 4: Gráficos esfuerzo v/s deformación .....	87
Gráficos etapa 1.....	87
Material: Almidón de maíz (30gr)+ desecho de manzana (100gr) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml).....	87
Material: Almidón de papa (30gr) + desecho de tomate (100gr) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml) .....	88
4.1.2 Gráficos etapa 2.....	89
Material: Almidón de maíz (30gr) + desecho de manzana (60gr + 40 ml de agua) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml) .....	89
Material: Almidón de maíz (30gr) + desecho de tomate (100gr desecho deshidratado) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml).....	90
Material: Almidón de maíz (30gr) + desecho de manzana (100 gr) + glicerina (14ml) + vinagre (7ml).....	91
Anexo 5: Tablas de control de peso a biopolímeros en diferentes condiciones ambientales....	92
Control de masa a biopolímeros en zona rocosa y seca .....	92
Control de masa a biopolímeros inmersos en agua.....	93
Control de masa a biopolímeros a la intemperie.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Clasificación bio-polímeros. Fuente: (Miriam Gallur Blanca, 2011).....	8
Figura 2-2: Set de platos biodegradables marca BIOely, encontradas en el comercio local. Fuente: propia .....	11
Figura 2-3: Variedad de Productos fabricados por Ecoshell. Fuente: (Ecoshell,2010) .....	12
Figura 2-4: Agrupación cadenas de polisacáridos. Fuente: (ITENE, 2011) .....	14
Figura 2-5: Proporción de polisacáridos según su origen. Fuente: (Miriam Gallur Blanca, 2011) .....	15
Figura 2-6: Máquina de ensayos de tracción Zwick Roell z005. Fuente: <a href="https://www.zwickroell.com/">https://www.zwickroell.com/</a> .....	22
Figura 2-7: Gráfico representativo de ensayo de tracción, con la curva tracción v/s deformación. Fuente: Areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html.....	23
Figura 3-1: Vasos precipitados con 30 gr. almidón cada uno. De izq. a der. Almidón de trigo, maíz y papa. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 3-2: Muestras de engrudos esparcidos sobre superficie plana y limpia. De izq. a der. Engrudo de harina, almidón de maíz y chuño. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 3-3: Mezcla de agua y almidón sobre calefactor. Fuente Elaboración propia .....	36
Figura 3-4: Mezcla almidón-glicerina-agua-vinagre ya tomando consistencia. Fuente: Elaboración propia .....	37
Figura 3-5: Muestra de biopolímero fabricada con material de desecho de manzana. Fuente Elaboración propia .....	37
Figura 3-6: Biopolímero de manzana, material tipo C2. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 3-7: Biopolímero de tomate, material tipo D3. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 3-8: Material tipo F1: biopolímero de manzana modificado, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana (60gr pulpa de manzana 40ml de agua). Fuente: Elaboración propia .....	43
Figura 3-9: Material tipo F2: biopolímero de tomate modificado, fabricado en base a almidón de papa, Tomasa (piel y semilla del tomate). Fuente: Elaboración propia .....	44
Figura 3-10: Material tipo G2: biopolímero de manzana modificado, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana, glicerina en doble proporción a la inicial. Fuente: Elaboración propia .....	44
Figura 4-1: Probetas estandarizadas de 2 x 3,5 cm De izq. a derecha: Material F1, D3, C2. Fuente: Elaboración propia. ....	54

Figura 4-2: Probetas sometidas a medio líquido día 4. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 4-3: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 4. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 4-4: Probetas sometidas a la intemperie día 4. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 4-5: Probetas sometidas a medio líquido día 8. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 4-6: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 8. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 4-7: Probetas sometidas a la intemperie día 8. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 4-8: Probetas sometidas a medio líquido día 12. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 4-9: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 12. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 4-10: Probetas sometidas a la intemperie día 12. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 4-11: Probetas sometidas a medio líquido día 24. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 4-12: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 24. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 4-13: Probetas sometidas a la intemperie día 24. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1: Variación de masa para material tipo C2: Biopolímero de manzana. Fuente: Elaboración propia .....	53
Gráfico 4-2: Variación de masa para material tipo D3: Biopolímero de tomate. Fuente: Elaboración propia .....	53
Gráfico 4-3: Variación de masa para material tipo F1: Biopolímero de manzana modificado. Fuente: Elaboración propia .....	54
Gráfico 4-4: Gráfico comparativo etapa 1. Fuente: Elaboración propia .....	59
Gráfico 4-5: Gráfico comparativo etapa 2. Modificación biopolímero de tomate. Fuente: Elaboración propia .....	60
Gráfico 4-6: Gráfico comparativo etapa 2. Modificación biopolímero de manzana. Fuente: Elaboración propia .....	62
Gráfico 4-7: Gráfico comparativo etapa 3. Modificación biopolímero de manzana. Fuente: Elaboración propia .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Características Acido poli-láctico (PLA). Fuente: Elaboración propia .....	9
Tabla 2-2: Características Polihidroxiacalonoatos. Fuente: Elaboración propia.....	10
Tabla 2-3: Características Celulosa. Fuente: Elaboración propia.....	13
Tabla 2-4: Propiedades glicerina. Fuente: Elaboración propia .....	17
Tabla 2-5: Principales características de la máquina de ensayos de tracción Zwick Roell. Fuente: Elaboración propia, datos extraídos de la página zwickroell.com.....	22
Tabla 3-1: Materiales a utilizar para la fabricación de nuevo material bio-plástico. Fuente: Elaboración propia .....	29
Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la fabricación del material. Fuente: Elaboración propia. ....	31
Tabla 3-3: Receta para la fabricación de biopolímero. Fuente: Elaboración propia .....	33
Tabla 3-4: Materiales fabricados en etapa 2 y sus proporciones. Fuente: Elaboración propia .	42
Tabla 4-1: Dimensiones involucradas en ensayos realizados en etapa uno. Fuente: Elaboración propia .....	50
Tabla 4-2: Resultados obtenidos en ensayos de tracción realizados etapa uno. Fuente: Elaboración propia .....	50
Tabla 4-3: Dimensiones involucradas en ensayos realizados en etapa dos. Fuente: Elaboración propia .....	51
Tabla 4-4: Resultados obtenidos en ensayos de tracción realizados etapa dos. Fuente: Elaboración propia .....	51
Tabla 4-5: Tabla comparativa material D3 y F2. Fuente: Elaboración propia .....	61
Tabla 4-6: Tabla comparativa material C2 y F1. Fuente: Elaboración propia .....	62
Tabla 4-7: Tabla comparativa material C2 y G2. Fuente: Elaboración propia .....	64

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 ANTECEDENTES**

El problema que se puede observar en el título de la presente tesis sobre la creación y posterior caracterización de un material bio-polimérico y biodegradable, tiene un trasfondo que va más allá de solo realizar y parametrizar la creación de un nuevo material. La motivación de esta tesis surge de un problema mayor, el cual es la sobre explotación y uso desmedido de plásticos y/o polímeros de origen artificial, su utilización en artefactos de muy poca vida útil y su mínima o casi nula labor de reciclaje a nivel mundial, lo que repercute en una contaminación a niveles muy altos en todo el mundo en océanos, bosques, basurales clandestinos sobreexplotados, entre otros, situación que afecta a toda la vida orgánica que rodea a estos focos de contaminación.

Es por lo cual que en reemplazo de todos estos polímeros de corta vida útil surge la oportunidad de crear un material, realizado en base a residuos orgánicos que no afecten al medio ambiente durante su descomposición y que posean características mecánicas capaces de reemplazar estos polímeros artificiales para la creación de productos de corta vida útil (tenedores, platos y/o vasos desechables).

Se hace mención a esto debido a que los polímeros biodegradables existentes actualmente igual poseen un porcentaje de plástico en su composición, lo que repercute en emisión de ciertos gases o elementos en su periodo de descomposición, explicado más adelante en la presente tesis.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La problemática a abordar es la no existencia de un material biodegradable fabricado en base a los residuos orgánicos existentes y abundantes en la región del Maule y aunque más que una problemática esto debe ser abordado desde el punto de vista de una oportunidad de innovación regional.

Es importante mencionar que deriva de un problema de mayor trasfondo que es el excesivo e indiscriminado uso de plásticos de base sintética en la actualidad, y el mínimo o casi nulo proceso de reciclaje aplicado a los mismos, siendo esta la causa para la creación de nuevos materiales biodegradables.

### **1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA**

Respecto a la problemática ya planteada sobre el uso indiscriminado de plástico y el mal proceso de eliminación de éstos (que contribuyen a la contaminación), la solución al tema de mayor trasfondo sería la creación de conciencia ecológica a nivel global, y realizar una educación en base al reciclaje y sus beneficios en todo el mundo, pero debido a que esto no es un factor controlable ni realizable al corto tiempo, el aporte que se puede realizar para colaborar con la causa y fomentar el uso de los recursos orgánicos provenientes de los procesos agroindustriales, es la creación de un material bio-polimérico, fabricado en base a residuos orgánicos abundantes en la región del Maule, el cual sea utilizado para la fabricación de implementos de corta vida útil y que en su etapa de descomposición sea capaz de degradarse y ser absorbido por el ambiente en el cual se encuentre.

### **1.4 OBJETIVOS**

Para resolver la problemática expuesta anteriormente, se plantea el siguiente objetivo general y sus variantes representadas como objetivos específicos de la investigación.

#### **1.4.1 Objetivo general**

Generar un material biodegradable con desechos orgánicos existentes en la región del Maule, que sea una alternativa de reemplazo al plástico de uso residencial y/o comercial.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar los materiales biodegradables existentes en la actualidad y sus características.
- Determinar propiedades y parámetros a evaluar en un material biodegradable

## Capítulo 1. Introducción

- Generar un material biodegradable en base residuos agrícolas existentes en la región del Maule y su respectiva receta.
- Caracterizar las propiedades mecánicas del material resultante
- Evaluar el tiempo de degradación del material en condiciones ambientales específicas.

### **1.5 RESULTADOS ESPERADOS**

Los resultados esperados al igual que los objetivos planteados con anterioridad se dividen en 5 etapas, las que se describen a continuación:

La primera etapa se espera obtener un marco teórico capaz de fundamentar la problemática planteada y la investigación a tratar.

En la segunda etapa se obtendrá la determinación de las propiedades a estudiar en el material resultante.

En la tercera etapa se obtendrá un bio-polímero realizado en base a solo elementos y residuos de origen orgánico, capaces de reemplazar en ciertos usos los polímeros artificiales existentes hoy en día.

La cuarta etapa entrega las propiedades mecánicas obtenidas a través de ensayos de tracción del o los materiales bio-poliméricos resultantes.

Y en la última etapa se espera conseguir el tiempo que se tarda el material en ser biodegradado (como varia su peso y dimensiones) en diferentes condiciones ambientales.

### **1.6 METODOLOGÍA**

La metodología de trabajo utilizada se divide en 5 etapas que desarrollan los objetivos específicos planteados y las herramientas utilizadas para cumplir con estos y se presentan a continuación

Para el objetivo específico uno se realizarán las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica de los bio-polímeros y plásticos biodegradables existentes en la actualidad y sus características.

## Capítulo 1. Introducción

Para el objetivo específico dos se realizará la siguiente actividad:

- Seleccionar las propiedades a evaluar en los materiales fabricados y sus variables.

Para el objetivo específico tres se realizarán las siguientes actividades:

- Plantear una receta para la fabricación de bio-polímeros, a partir de las características de los materiales a utilizar en el proceso.
- Realizar material bio-polimérico, documentando el proceso de fabricación y materiales utilizados.

Para el objetivo específico cuatro se realizarán las siguientes actividades:

- Clasificar las muestras en base a sus características visuales y palpables
- Caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales resultantes mediante la realización de ensayos de tracción a probetas de prueba.

Para el objetivo específico cinco se realizarán las siguientes actividades:

- Proponer mejoras a las recetas de los materiales, en base al análisis de las propiedades mecánicas.
- Evaluar el comportamiento del material al estar sometido a diferentes condiciones ambientales
- Analizar resultados obtenidos mediante los ensayos mecánicos y plantear conclusiones al respecto.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

## 2.1 DEFINICIÓN DE BIOPOLÍMEROS

Se llama biopolímeros o bio-plásticos a aquellos plásticos que son biodegradables, y que esencialmente derivan de recursos renovables, como el almidón y la celulosa de las plantas, por ejemplo. Se dice que un material es biodegradable cuando puede ser degradado por microorganismos para originar moléculas sencillas asimilables por el ambiente.

Por lo general la gran parte de estos materiales se encuentran en forma natural en el ambiente, pero también se han masificado los bio-polímeros que derivan de una modificación en un laboratorio, ya sea para mejorar su tasa de degradación o sus propiedades mecánicas, así como también su permeabilidad a los gases y vapor de agua o condiciones de resistencia térmica, considerándose, estas últimas, las características más importantes para la fabricación de objetos del rubro alimentario.

Cabe también mencionar que la razón de la alta cantidad de tiempo necesario para la degradación del plástico común deriva en algo tan sencillo como que los microorganismos existentes en el ambiente no tienen las enzimas necesarias para romper las uniones químicas de las moléculas que forman parte de los plásticos sintéticos comunes, como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, polietilentereftalato, etc., es por esto que estos plásticos no resultan biodegradables. (Hernández Mónica, 2009)

## 2.2 TIPOS DE BIOPOLÍMEROS UTILIZADOS EN LA ACTUALIDAD

Comúnmente la clasificación de los biopolímeros se realiza en tres grandes grupos, según su fuente de obtención, entre estas tenemos:

**Biopolímeros directamente extraídos de biomasa:** son los ya mencionados en el punto anterior, como materiales bases bio-poliméricos, siendo estos los que se encuentran de forma natural en el medio ambiente como por ejemplos el almidón de las patatas, el maíz o el trigo; la celulosa; alginatos o carragenatos procedentes de algas; o el quitosano que se extrae de la cáscara de crustáceos. (Rubio, 2015)

También se han conseguido biopolímeros a partir de proteínas de fuente animal como la gelatina y de origen vegetal (proteína de soja o gluten). Algunos de estos biopolímeros pueden procesarse

## Capítulo 2. Marco teórico

utilizando tecnologías convencionales de procesado plástico. Un ejemplo es el almidón para bolsas de plástico biodegradable.

**Biopolímeros sintetizados a partir de monómeros derivados de biomasa:** Generalmente son biopolímeros extraídos de biomasa, a los cuales se les adiciona un proceso y un elemento externo, como es el caso del ácido poliláctico (PLA), obtenido generalmente a partir de almidón de maíz, y otros biopoliésteres, que se le adiciona ácido láctico para su fermentación. Se utilizan para diversas aplicaciones de envasado, son imprimibles y en agricultura se ocupan para fabricar mantillos para cubrir los cultivos. (Rubio, 2015)

**Biopolímeros producidos por microorganismos:** Estos son biopolímeros obtenidos a través de la fermentación bacteriana y de azúcares. La gran variabilidad de sus grupos funcionales permite una gran variabilidad también de formas químicas y de sus propiedades. La celulosa bacteriana es un ejemplo de un polímero obtenido por fermentación con microorganismos, o los polihidroxi alcanoatos (PHAs), biopolímeros que algunos microorganismos acumulan como reserva de carbono y energía cuando hay limitaciones nutricionales en el medio donde viven. (Rubio, 2015)

A continuación se presenta la figura 2.1 con la clasificación de los biopolímeros según la naturaleza de su origen, y en círculos se evidencian los de mayor uso, de los cuales se desarrolla el PLA y el PHAs. reconocidos como los de mayor relevancia uso en el mercado actual.

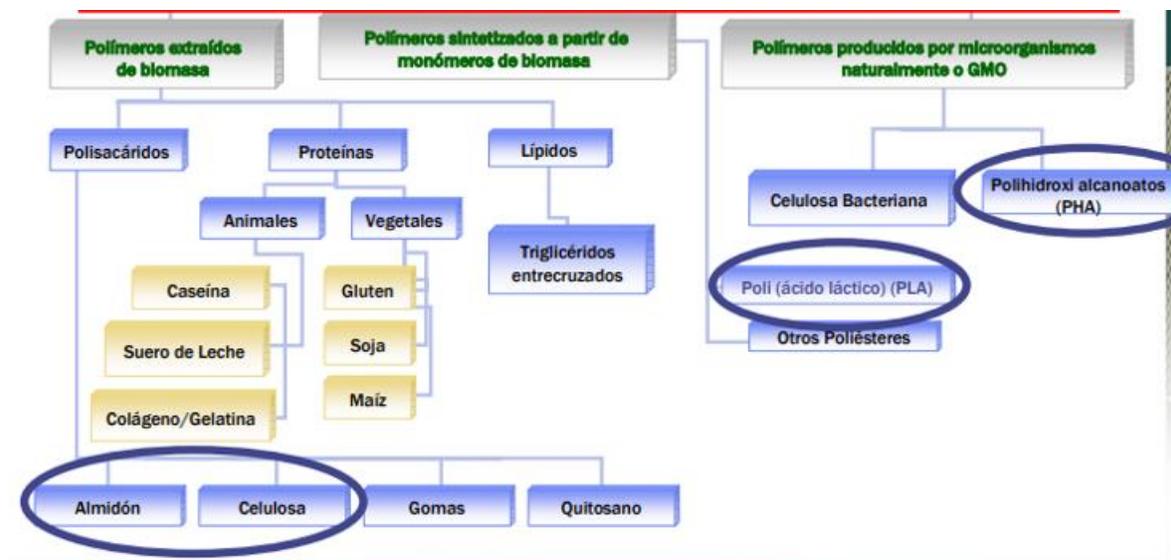


Figura 2-1: Clasificación bio-polímeros. Fuente: (Miriam Gallur Blanca, 2011)

## Capítulo 2. Marco teórico

### 2.2.1 Acido poli láctico (PLA)

El ácido poli-láctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Su proceso implica la extracción de los azúcares del almidón de la remolacha o del trigo y después fermentarlo con ácido láctico. (Industriales, 2005).

Sus características de mayor relevancia se evidencian en la tabla a continuación:

Tabla 2-1: Características Acido poli-láctico (PLA). Fuente: Elaboración propia

Ácido poli-láctico (PLA)	
Ventajas	Desventajas
Características mecánicas similares al polietileno.	Baja ductilidad, restringe su uso en envases de alimentos (quebradizos).
Degradable en el ambiente.	En su proceso de descomposición biológica, emite CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> , dos gases invernaderos que se buscan reducir.
Gran capacidad de sellado a bajas temperaturas, barrera a diferentes aromas y transparencia.	
Permeabilidad al vapor de agua mayor que en envases de PET, PP o PVC.	
Termo-estable, imprimible sin tratamiendo superficial.	

### 2.2.2 Polihidroxicarbonatos

El Polihidroxicarbonatos es obtenido a partir de la fermentación microbiana y azúcares, por lo cual pertenece a la familia de poliésteres de reserva producidos por bacterias. Debido a las variables posición de sus grupos funcionales derivados de una gran cantidad de bacterias y combinaciones de las mismas, además de variaciones en sus grados de polimerización, entre otros, permiten varias formas químicas, con variadas propiedades mecánicas, térmicas entre otras. (Miriam Gallur Blanca, 2011)

## Capítulo 2. Marco teórico

Sus características de mayor relevancia se pueden evidenciar a continuación:

Tabla 2-2: Características Polihidroxicarbonatos. Fuente: Elaboración propia

Polihidroxicarbonatos	
Ventajas	Desventajas
Insoluble en agua, biodegradable y no tóxicos	Sensible a la degradación térmica
Resiste a grasas y disolventes	Quebradizo
Buena relación de estirado para procesos de soplado	Viscosidad en fundido muy baja
Estable frente a la hidrólisis	

## 2.3 AVANCES EN PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

### 2.3.1 En Chile

Existen diversos estudios en cuanto a la búsqueda de nuevos materiales biodegradables, o la mejora de los ya existentes, entre los que destacan:

Estudio Universidad de Santiago, mejora biopolímero existente en base a alcachofas:

Fernanda Ramírez, tecnóloga en diseño industrial de la U. de Santiago, junto con sus compañeras, su profesora guía y el apoyo del Laboratorio de Envases (LABEN) de la misma universidad” (Eldesconcierto, 2018)

A nivel regional, estudio en la Universidad Católica del Maule para la producción de aceite vegetal en base a especies nativas para la producción de plásticos. (PrensaUCM, 2016)

Dr. © Jorge Contreras académico UCM y director del proyecto.

A nivel comercial es posible encontrarse con variadas opciones de plásticos biodegradables, en su mayoría se ofrecen como utensilios tales como platos, bandejas entre otros. Pero es importante destacar un factor importante en estos utensilios, a pesar de que se denominan biodegradables aún presentan un 30% de resina reciclable de P.P (polipropileno (5)), como se puede evidenciar a continuación en la ilustración donde sus ingredientes son:

## Capítulo 2. Marco teórico

- 65% de almidón de maíz
- 30% resina reciclable de P.P (polipropileno (5))
- 5% otros productos orgánicos



Figura 2-2: Set de platos biodegradables marca BIOely, encontradas en el comercio local. Fuente: propia

### 2.3.2 En Latinoamérica

Por su parte a nivel latinoamericano, Ecoshell, es una empresa mexicana, fundada en 2010, y es pionera en la producción de utensilios a base de bioplásticos en base a plantas que se demoran entre 90 a 240 días en biodegradarse.

Fundada en 2010, esta empresa es pionera en la producción de utensilios con bioplásticos en base a plantas que se demoran de 90 a 240 días en biodegradarse.

A continuación se presentan la variedad de productos fabricados por Ecoshell.

## Capítulo 2. Marco teórico



Figura 2-3: Variedad de Productos fabricados por Ecoshell. Fuente: (Ecoshell,2010)

### 2.4 MATERIALES BASES UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE BIOPOLÍMEROS EXTRAÍDOS DE BIOMASA

Tanto en los plásticos como en los bio-plásticos existen materiales bases utilizados para la fabricación de nuevos materiales, si bien cada uno posee propiedades características, la unión de estos puede crear mejoras en algún nuevo material. Por esto, es de gran importancia explicar las características de mayor relevancia de cada uno de estos materiales por separado. A continuación se presenta una serie de materiales, los cuales son los de mayor uso en la actualidad, o los más abundantes.

#### 2.4.1 Celulosa

Siendo este uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza, y más fáciles de obtener, presenta una gran dificultad, la cual deriva de su naturaleza hidrofílica, por lo que es altamente sensible a la humedad y se hace complejo trabajarlo y usarlo, encareciendo los costos de procesos del mismo. (Hernández Mónica, 2009)

Principalmente es utilizado como reforzante, debido a su alta densidad, generando un gran poder estructural y baja permeabilidad.

## Capítulo 2. Marco teórico

En la actualidad se están desarrollando envases con formulación a base de celulosa para el envase de quesos, utilizando el sistema de termo-formado.

Por su estructura regular tiene a formar enlaces de hidrógenos de fibra de alta resistencia, por lo que es usado ampliamente como material de embalaje, además de la formación de papel y sus variaciones (cartón, entre otros) (Zoffoli, 2015)

Los derivados de la celulosa más populares son el carboximetil celulosa y el acetato de celulosa, este último de menor permeabilidad al vapor de agua y es el más usado en envases.

Para acotar sus características a continuación se presentan sus ventajas y desventajas.

*Tabla 2-3: Características Celulosa. Fuente: Elaboración propia.*

Celulosa	
Ventajas	Desventajas
Versátil: Se le puede realizar modificación química para obtener derivados	Sensible a la humedad
Alta densidad; siendo utilizado como reforzante, otorgando poder estructural y baja permeabilidad	Insolubilidad
Termo-sellables y termoestables	Sufre degradación térmica
Fibras de alta resistencia utilizadas en su mayoría como material de embalaje	Elevado costo de uso

### 2.4.2 Almidón

Polímero natural de gran abundancia en el ambiente, siendo uno de los más estudiados y utilizados para la fabricación de envases en la actualidad. Estos variados estudios se deben a sus propiedades hidrofílicas y baja resistencia, lo que lleva a buscar alternativas para superar estos inconvenientes manteniendo su característica biodegradable.

Entre estas alternativas se destacan la adición de silicatos (arcillas) y en el caso de los plastificantes han posibilitado aumentar la flexibilidad del material y en conjunto con la adición de agua y temperatura, se ha logrado la extrusión del material y la formación de almidones

## Capítulo 2. Marco teórico

termoplásticos, propiedad a muy importante a considerar para la evaluación del material a realizar y los utensilios que se van a fabricar. (Hernández Mónica, 2009)

El almidón está conformado por los polisacáridos de glucosa amilosa y amilopectina, la proporción en la que se presente cada uno de estos polisacáridos en los diferentes tipos de almidones son las que determinan las propiedades del mismo y los tipos de film que se pueden obtener de estos.

Por ejemplo; si el almidón es rico en amilopectinas, es más permeable al vapor de agua que los derivados de amilosa, y la adición de glicerol (un plastificante) incrementa aún más esta permeabilidad. (Zoffoli, 2015)

Por otro lado si la proporción de amilosa es mayor, nos determina películas con mayor capacidad de elongación y resistencia.

Además estos polisacáridos de glucosa, en el almidón se agrupan formando distintas cadenas, por ejemplo:

Lineales: Amilosa

Ramificadas: Amilopectina

Como se puede evidenciar en la siguiente imagen.

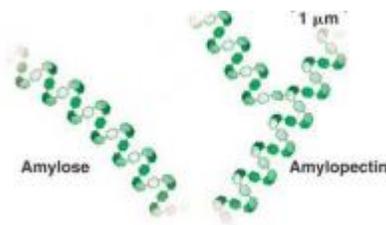


Figura 2-4: Agrupación cadenas de polisacáridos. Fuente: (ITENE, 2011)

Y por último, los almidones más usados provienen principalmente de especies como papa, maíz y arroz, donde cabe destacar que según el origen de este almidón también varían sus propiedades espesantes, retenedoras de agua y estabilizadoras, debido a que en cada uno de estos productos, la amilosa y la amilopectina se presentan en proporciones distintas, como se puede evidenciar en la imagen a continuación:

## Capítulo 2. Marco teórico

Fuente	% Amilosa	% Amilopectina
Patata	80	20
Maíz	27	73
Trigo	24	76

Figura 2-5: Proporción de polisacáridos según su origen. Fuente: (Miriam Gallur Blanca, 2011)

### 2.4.3 Quitosano

El quitosano es un derivado directo de la quitina la que es abundante en la naturaleza y principalmente se obtiene de desechos de la industria pesquera, más específicamente de los exoesqueletos de los crustáceos.

En la actualidad es ampliamente utilizado en el área cosmética, y en la vida cotidiana por sus múltiples propiedades, siendo la de mayor importancia su poder antimicrobiano, por lo que ha sido utilizado como revestimiento en frutos para evitar pudriciones.

El quitosano debido a sus propiedades forma una película altamente resistente, muy similar a la de los polímeros sintéticos, con una permeabilidad al oxígeno modificable, aunque generalmente se le deben agregar otros compuestos para modificar su consistencia y solubilidad en agua. (Zoffoli, 2015)

### 2.4.4 Carrejenina

La carrejenina es un producto obtenido de las algas rojas, utilizado altamente en la industria farmacéutica y la industria cosmética, por su propiedad anti-microbial, siendo además soluble en agua, pero presentando una baja fuerza mecánica. (Hernández Mónica, 2009)

Con el objetivo de buscar mejoras en sus propiedades, ya se ha investigado la mezcla de este material con almidón.

### **2.4.5 Caseína**

Esta última es obtenida principalmente de la leche y sus derivados, utilizada también como película para recubrir alimentos. Esto último se ha expandido su uso por la capacidad de formar películas en un medio acuoso, pero su baja resistencia y especialmente su baja permeabilidad al oxígeno limitan su uso en el recubrimiento de frutas.

El film de caseína tiende a quebrarse fácilmente cuando se seca, es altamente permeable al vapor de agua y soluble en agua, lo que limita su uso como embalaje en condiciones de alta humedad. (Zoffoli, 2015)

## **2.5 MATERIALES ADITIVOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO**

Al realizar la selección del material base a utilizar, se presentan a continuación los materiales que buscan mejorar las propiedades para la fabricación del nuevo biopolímero, evidenciando sus características e importancia en la nueva receta.

### **2.5.1 Glicerina**

La glicerina es un compuesto de carbono que contiene tres grupos de hidroxilos, se encuentra a temperatura ambiente como un líquido viscoso, incoloro e inodoro, con sabor dulce. Se genera como uno de los productos derivados en el tratamiento de materias grasas de origen vegetal o animal con soluciones alcalinas fuertes. Además, se puede obtener como un subproducto derivado de la producción de biodiesel (UV, Máster universitario en Química, 2016).

La glicerina tiene varios usos ya que es un químico muy importante con una amplia gama de aplicaciones debido a sus propiedades, entre las cuales se tienen las siguientes:

## Capítulo 2. Marco teórico

Tabla 2-4: Propiedades glicerina. Fuente: Elaboración propia

Propiedad	Uso
Humectante	Sustancia que absorbe y retiene humedad de los alrededores.
Espesante	Para evitar la cristalización de azúcar o licores.
Edulcorante	Otorgar dulzura en las bebidas.
Solvente	Usado en colorantes alimenticios.
Plasticidad	Producción de celofán para otorgar elasticidad y evitar que se rompa con facilidad.

Destacando para la presente investigación sus propiedades humectantes y plastificantes, lo que le otorgaría al nuevo material, humedad constante y elasticidad, evitando que se rompa con facilidad.

### 2.5.2 Vinagre

El vinagre es una solución diluida de ácido acético producido por fermentación, a la que se le agregan sales y extractos de otras materias. Es un conservante natural de los alimentos y se utiliza en la industria alimenticia por tener la propiedad de reducir el pH de los alimentos para evitar el crecimiento de bacterias. (Pino, 2007).

Además es un excelente ingrediente para marinar ya que es un ablandador natural que desdobra las fibras y proteínas de las carnes. Esta es una propiedad a considerar en el proceso de fabricación del nuevo material, vinculada al proceso químico que este involucra, específicamente en la desestructuración de las cadenas que componen el almidón.

## Capítulo 2. Marco teórico

Además se utiliza como agente antibacteriano porque ayuda a eliminar bacterias que pueden ser dañinas a la salud. Evita el crecimiento de hongos, desinfecta los equipos que se utilizan para procesar alimentos y neutraliza los malos olores característicos de ciertos alimentos.

Fuera del mundo gastronómico también se utiliza en la industria textil para fijar los colores de las telas, así como también, la industria química lo usa por ejemplo como ingrediente para elaborar limpiadores líquidos de vidrio.

### **2.5.3 Agua**

El agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Es un líquido inodoro, insípido e incoloro. También se puede encontrar en varios estados: sólido, líquido y gaseoso (Fundación Aquae, S.F).

Al agua se le llama el "solvente universal" porque disuelve más substancias que cualquier otro líquido. Esto significa que a donde vaya el agua, ya sea a través de la tierra o a través de nuestros cuerpos, lleva consigo valiosos químicos, minerales y nutrientes. (USGS Science for a changing world, 2017).

Es su propiedad de solvente universal, la cual tiene utilidad en el nuevo material, siendo utilizada para disolver el resto de materiales que se le agreguen a éste.

### **2.5.4 Pulpas de desechos orgánicos**

En la región del Maule se reúne más del 50 % de la producción nacional de frutas y hortalizas, concentrando además el 25 % de las agroindustrias de alimentos procesados de Chile. Pese a estos números, que posicionan a la región en un lugar importante a nivel nacional, hasta hace un tiempo en el Maule existían solo centros tecnológicos y unidades de investigación enfocadas

## Capítulo 2. Marco teórico

básicamente en el vino, pero nada relacionado directamente con la investigación que permitiera lograr la innovación en la transformación y elaboración de los subproductos de frutas y hortalizas.

Por lo cual para la presente investigación se opta por dos especies de fruta fuertemente presentes en la región, las cuales son la manzana y el tomate, aclarando a continuación las características por las cuales fueron seleccionadas (CEAP, Región del Maule, 2016).

### *2.5.4.1 Manzana (cáscara y desechos)*

La manzana es una de las frutas más completas y saludables que se conocen por su contenido en hidratos de carbono, fibra, vitaminas y potasio, ésta se compone de la piel, carne, centro semilla y tallo.

La piel es la parte de la manzana rica en nutrientes. Comer la manzana sin piel, supone un 11% menos de fibra. La fibra es soluble y muy positiva para nuestro organismo (Plascencia, 2015).

La utilización del desecho de manzana ha recibido muy poca atención, a pesar de considerarse como una fuente de energía barata y con gran contenido de humedad (70-80%) (Seipel, 2009). Por ende su desecho es un material óptimo a considerar en la producción de un nuevo biomaterial.

### *2.5.4.2 Tomate (cáscara y desechos)*

El tomate en la región del Maule concentra cerca del 66 % de la producción industrial de Chile. La producción por temporada de tomate procesado en la región es cercana a las 600 mil toneladas, esta producción genera un residuo que corresponde específicamente a la piel y a la semilla de esta pulpa (tomasa: lo que corresponde a la piel y semilla deshidratada). Son cerca de 18 mil toneladas de desecho que se generan en cada temporada en el Maule y hoy en día su

## Capítulo 2. Marco teórico

utilidad se reduce solo a ser vendida a muy bajo precio o regalada para consumo animal. (CEAP, Región del Maule, 2016)

Y es debido a la cantidad de desechos producidos, que este subproducto es un material óptimo para la producción de un nuevo biomaterial. Pero para esta investigación, el desecho a utilizar es la cascara del tomate pero con un porcentaje variable de pulpa interna (Tal cual como se obtiene este desecho del hogar).

El Tomate es un fruto comestible, de piel roja, verde o amarilla, lisa y brillante, pulpa muy jugosa y semillas amarillas y plana. Es rico en vitaminas A, B, C, PP y K; en minerales como fósforo, calcio, zinc, magnesio, potasio, sodio y manganeso; en bioflavonoides (sustancias vegetales, moléculas hidrosolubles), en licopeno (pigmentación roja) y tiene propiedades antioxidantes. Además, una pieza de este vegetal (mediano, de 150 gramos), cuenta con tan solo 35 calorías y 0% colesterol (Escalona, 2009).

## **2.6 CARACTERIZACIÓN**

Para realizar un estudio completo en el cual, se puedan considerar la mayor cantidad de variantes existentes tanto en un material base como en el compuesto ya fabricado, existen diversos factores y métodos que se han de considerar para los respectivos análisis pre y post evaluativos, entre estos se encuentran:

### **2.6.1 Propiedades Mecánicas: Ensayo de tracción a Film plástico**

Las propiedades mecánicas de un material describen el modo en que este responde a la aplicación de una fuerza o carga, por lo cual para lograr determinar las características del nuevo material, se debe someter a ensayos que simulen las condiciones en las que va a trabajar.

Es posible ejercer tres tipos de fuerzas mecánicas que afecten a los materiales: compresión, tensión (tracción) y cizalla.

## Capítulo 2. Marco teórico

Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por separado o combinadas. Las pruebas de tracción, compresión y cizalla sirven sola para medir una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas simultáneas. En este documento solo se explica la de mayor relevancia en el material biopolímero a crear, la cual es una prueba de tracción.

Generalizando estos ensayos consisten en someter una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produzca la rotura de esta. Estos ensayos miden la **resistencia** de un material a una fuerza estática creciente y aplicada lentamente.

La resistencia a esta tracción o también llamada tenacidad de un material, es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas. (J.Wright, 2016)

### *2.6.1.1 Maquinaria a utilizar para la caracterización del material*

Para la investigación a realizar el ensayo de tracción se ejecutó con la máquina para ensayos UTM modelo Zwick Roell- Z005 con capacidad para 5kN, encontrada en las dependencias del laboratorio de prototipos de la Universidad de Talca, Sede Ingeniería.

La máquina usada en la realización del ensayo de tracción, cuenta con dos mordazas para fijar la probeta del material a caracterizar, la cual es alargada por el movimiento de la cabeza y la célula de carga de la máquina.

El extensómetro y la célula de carga son los encargados de medir la elongación y la magnitud de la carga aplicada al material respectivamente.

La regulación de la velocidad de deformación de este tipo de máquinas está regulada por la norma ISO 6892-1, método A1 y las características de la máquina utilizada son las siguientes:

## Capítulo 2. Marco teórico

Tabla 2-5: Principales características de la máquina de ensayos de tracción Zwick Roell. Fuente: Elaboración propia, datos extraídos de la página [zwickroell.com](http://www.zwickroell.com)

Máquina de ensayos de tracción Zwick Roell	
Especificaciones	Descripción
Tipo	Retroline tC Z005 TN Proline
Modelo	Modelo sobremesa
Fuerza de ensayo max.	5 kN
Altura de área de ensayo	1070 mm
Ancho de área de ensayo	420 mm
Velocidad de Max. De cruceta	3000 mm/min
Relación de cruceta	0,041
Celdas de carga	Xforce P
Capacidad de celda de carga	500 N a 5 kN
Software de interface	testXpert 2
Control de interface	Digital (ethernet en tiempo real, Ethercat)

En la ilustración a continuación se muestra la máquina de ensayos descrita con anterioridad.



Figura 2-6: Máquina de ensayos de tracción Zwick Roell z005. Fuente: <https://www.zwickroell.com/>

## Capítulo 2. Marco teórico

En la realización de estos ensayos a la tracción se mide la **deformación** (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada. (Probeta que con anterioridad es fijada en las mordazas del equipo)

Esta deformación es representada gráficamente en función del esfuerzo a la tensión aplicada (carga dividida por la sección de la probeta), lo que nos entrega la comúnmente llamada **curva tensión-deformación**, en la cual se representan cuatro zonas diferenciadas, mencionadas a continuación:

1. Zona de deformaciones elásticas.
2. Zona de fluencia o cedencia.
3. Zona de deformaciones plásticas.
4. Zona de estricción.

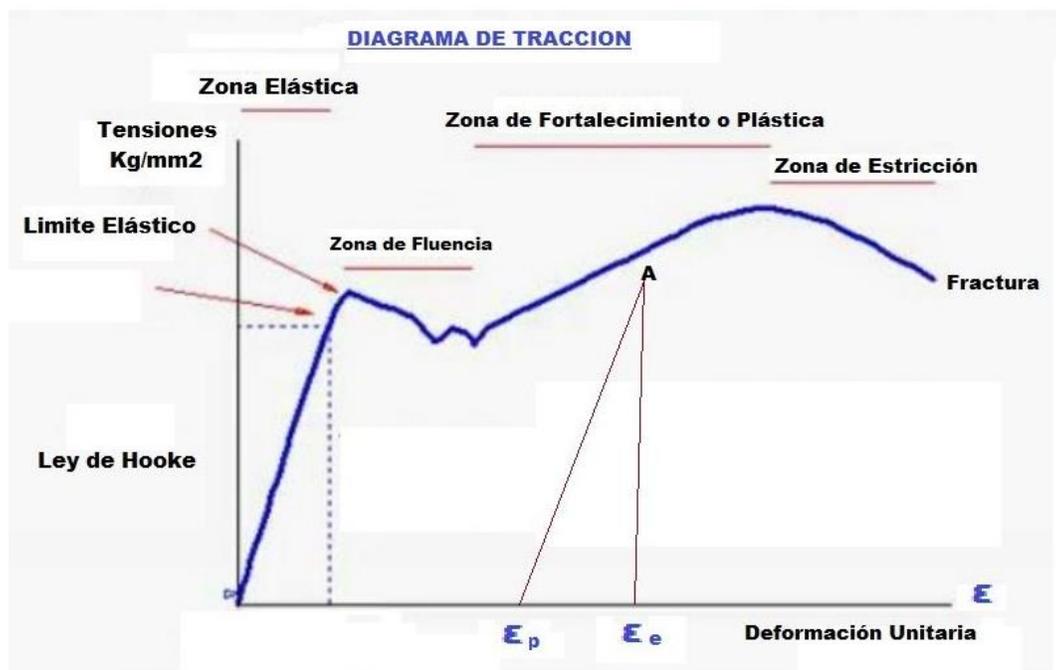


Figura 2-7: Gráfico representativo de ensayo de tracción, con la curva tracción v/s deformación. Fuente: [Areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html](http://Areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html)

## Capítulo 2. Marco teórico

### 2.6.1.2 Propiedades obtenidas del ensayo de tensión

Una vez finalizado los aspectos prácticos en el ensayo de tracción, se procede a calcular y determinar las propiedades del material con las magnitudes obtenidas. Por lo cual con la curva de tensión v/s deformación graficada podremos obtener las siguientes propiedades:

- a) **Esfuerzo de cedencia:** El esfuerzo de cedencia se define como el punto en el cual, el material sufre una deformación plástica, es decir, el material pasa la zona de deformación elástica nombrada con anterioridad y queda deformando permanentemente. En diseño, este esfuerzo es de gran importancia, ya que el material excediendo este valor puede fallar en cualquier momento. Su definición se realiza mediante gráficos de carga v/s elongación proveniente de un ensayo de tracción (Antonio Balvantín, 2016).
  
- b) **Esfuerzo a tensión:** se define como la relación de la máxima carga soportada durante la prueba de tensión entre el área de la sección transversal original. Si se estudia el comportamiento que tiene la probeta durante la prueba se observa que al llegar a la carga de cedencia la probeta sufre una reducción de área de su sección transversal ocasionando lo que llamamos cuello de botella y por consiguiente, la carga que la probeta resiste comienza a decrecer hasta llegar a la ruptura de esta. El esfuerzo a tensión viene dado por la siguiente relación (J.Wright, 2016).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \left( \frac{F}{A_0} \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

- c) **Módulo elástico:** el módulo elástico o módulo de Young se determina la rigidez de un material, la cual se define como la capacidad de resistencia a la deformación, esto indica la capacidad que tiene el material de ser deformado elásticamente. Este valor se obtiene a partir de la gráfica de carga v/s elongación al dividir un incremento del esfuerzo entre un incremento de la elongación pertenecientes a la zona elástica. Lo que se puede evidenciar en la siguiente relación (J.Wright, 2016).

$$\text{Módulo de elasticidad } E = \frac{\Delta \text{esfuerzo}}{\Delta \text{elongación}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

- d) Porcentaje de elongación:** esta evaluación de propiedad, indicara la ductilidad con la que cuenta el material, esto significa la capacidad que tiene el material para deformarse antes de llegar al punto de ruptura del mismo. El porcentaje de elongación se define restando la longitud final de la probeta menos la inicial, todo eso dividido por la longitud inicial, tal y como se evidencia a continuación (J.Wright, 2016).

$$\% \text{ de Elongación} = \frac{L_f - L_i}{L_i} * 100 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

$L_f$ : longitud final de la probeta

$L_i$ : longitud inicial de la probeta

- e) Porcentaje de reducción de área:** propiedad utilizada también para evidenciar la ductilidad de un material y expresarla como el porcentaje de reducción de área que sufre el material durante el ensayo. Se puede representar con la siguiente relación (J.Wright, 2016).

$$\% \text{ de Reducción de Área} = \frac{A_i - A_f}{A_i} * 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$A_f$ : longitud final de la probeta

$A_i$ : longitud inicial de la probeta

- f) Módulo de resistencia:** es el área que aparece bajo la porción elástica de la curva esfuerzo-deformación, también representa la energía elástica que un material absorbe o libera durante la aplicación y liberación de carga aplicada respectivamente. En el caso de un comportamiento elástico lineal la relación es la siguiente (J.Wright, 2016).

$$E_r = \frac{1}{2} (\text{esfuerzo de cedencia})(\text{deformación a la cedencia}) \quad \text{Ecuación (5)}$$

## Capítulo 2. Marco teórico

- g) Coeficiente de Poisson:** El coeficiente de Poisson evalúa la relación entre la contracción relativa de una sección transversal y el alargamiento relativo de la sección longitudinal. Este viene dado por la siguiente relación (J.Wright, 2016).

$$\nu = \frac{\text{Contracción transversal } (\Delta\varepsilon)}{\text{Alargamiento longitudinal } (\varepsilon)} = \frac{\frac{d_0 - d_{\Delta L}}{d_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde

$d_0$  = diámetro inicial

$d_{\Delta L}$  = variación diámetro

$\Delta L$  = variación longitud

$L_0$  = longitud inicial

## **CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA**

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

El siguiente capítulo consiste en la producción, pruebas y análisis empírico de los materiales bio-polímeros realizados, uno de los puntos más relevantes de la presente investigación.

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química de la Universidad de Talca, y tuvieron como objetivo principal, llegar a un prototipo de bioplástico del cual se evidenciarían sus características.

La metodología del diseño de experimentos de esta investigación se basa en la experimentación. Consiste en repetir un experimento en diferentes condiciones con la técnica de prueba y error, obteniendo de esta forma, resultados que presenten una cierta variabilidad.

#### **3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES**

El proceso experimental y la selección de componentes se determinaron como consecuencia de una serie de investigaciones realizadas en distintas fuentes con documentos investigativos relacionado con el tema expuesto. Las muestras realizadas se llevaron a cabo en el laboratorio de química pertenecientes a las dependencias de la Universidad de Talca, sede Curicó. Es aquí donde se definieron los primeros parámetros y materiales con los cuales se ha trabajado.

Como material base se utiliza el almidón, ya que se espera que otorgue resistencia al nuevo material, debido a su destacable propiedad gelificante. Entre las fuentes de almidón, se tiene almidón de maíz (harina), almidón de trigo y almidón de papa (chuño), lo que tiene como objetivo, evaluar el efecto de la procedencia del almidón en las propiedades del material final.

Además, dada su abundancia de producción en el medio local, los desechos a utilizar para la fabricación de bio-plástico son pulpa fabricada en base a los residuos de manzana y de tomate.

## 3.2 MATERIALES

Existen dos tipos de materiales utilizados en el desarrollo de la experimentación los cuales son los materiales utilizados para la fabricación del bio-plástico y los equipos de laboratorio utilizados.

### 3.2.1 Materiales para bio-plástico

Tabla 3-0-1: Materiales a utilizar para la fabricación de nuevo material bio-plástico. Fuente: Elaboración propia

Material	Ilustración
Almidón de trigo	
Almidón de maíz	
Almidón de papa	

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Vinagre de manzana	
Glicerina	
Agua	
Cáscaras y desechos de manzana	
Cáscaras y desechos de tomate	

## Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

### 3.2.1 Materiales de laboratorio

Los equipos utilizados en las dependencias del laboratorio fueron los siguientes:

Tabla 3-0-2: Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la fabricación del material. Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Marca / Modelo	Rango / precisión	Ilustración
Balanza alta precisión	Chyo /Jk-200	200g / 0.1mg	
Calefactor de temperatura regulable	Heidolph / MR 3001	T : 300° C / Rev: 1250 rpm	
Licadora de mano	Braun / Potencia 450 watt	Potencia 450 wtt	

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Vaso precipitado	Pyrex	500 mL / +/- 5%	
Probetas graduadas	-	100 mL / +/- 1 mL a 20°C	
Varillas de vidrio	-	-	
Jeringa graduada	-	25 mL / 1 mL	

#### 3.2.2 Proporciones utilizadas

Si bien los materiales utilizados ya se nombraron con anterioridad a continuación se presenta la proporción en la que se trabajó cada uno de estos en su receta y en cada una de las muestras realizadas.

## Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Tabla 3-0-3: Receta para la fabricación de biopolímero. Fuente: Elaboración propia

Material	Cantidad (aproximada)
Almidón	30 gramos.
Vinagre de manzana	7 mL
Glicerina	7 mL
Agua	200 mL
Cascara y desechos de manzana	100 gramos.
Cascara y desechos de tomate	100 gramos.

\*Las cantidades de pulpa de desechos utilizados se han estandarizado a lo que es posible obtener a partir de una unidad de manzana o de tomate.

### 3.3 EXPERIMENTACIÓN Y DESARROLLO DE MUESTRAS

Para realizar una buena experimentación en el desarrollo de las muestras de biopolímeros, se explica a continuación la reacción química producida por los materiales involucrados en el proceso de fabricación del material bioplástico.

Iniciando en la etapa uno de fabricación; el agua, el vinagre y el calor provocan la rotura de la organización de los gránulos del almidón (específicamente las ramificaciones de amilopectinas), desestructurándolo y dando lugar a la gelatinización. El almidón aumenta de volumen, formando

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

una pasta viscosa, con pérdida de la estructura dando lugar a un material termoplástico (Ruiloba, 2018).

La glicerina por su parte actúa como agente plastificante, que mejora la maleabilidad y las propiedades mecánicas del material resultante. (Rosales, 2016).

En la etapa dos de fabricación se le agrega a pulpa de desecho a elección, cuya participación está vinculada al proceso de degradación del material.

La receta o proceso tiene varias etapas, las que se deben cumplir en un orden jerárquico para su correcto desarrollo, aunque en primera instancia y para realizar una familiarización con los materiales a utilizar se desarrollaron muestras que solo evidenciaran las propiedades gelificantes del almidón, desarrollando lo que comúnmente se llama “engrudo”.

#### **3.3.1 Etapa 1: Familiarización con los materiales**

El proceso para desarrollar este engrudo fue el siguiente:

1. Vaciar 100mL de agua fría en un vaso precipitado.
2. Pesar 30 g. de almidón de diferentes fuentes (véase figura 3.1).
3. En otro vaso precipitado calentar 200mL de agua a 150°C.
4. Vaciar el almidón en el agua fría.
5. Vaciar la mezcla de almidón-agua fría en el vaso precipitado con agua caliente y revolver constantemente hasta lograr una consistencia pastosa.
6. Esparcir la muestra en una superficie limpia y plana (véase figura 3.2) dejar secar y observar resultados.

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática



Figura 3-1: Vasos precipitados con 30 gr. almidón cada uno. De izq. a der. Almidón de trigo, maíz y papa. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3-2: Muestras de engrudos esparcidos sobre superficie plana y limpia. De izq. a der. Engrudo de harina, almidón de maíz y chuño. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.2 Etapa 2: Desarrollo de las muestras con receta y proporciones establecidas

Ahora bien el proceso de la receta consta de dos partes importantes, la primera es el trabajo desarrollado con la mezcla de almidón-glicerina y vinagre y la segunda parte es la desarrollada con las pulpas de desechos.

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

A continuación se presentan ambas partes evidenciando su proceso de forma ordenada, el cual es el siguiente.

#### Parte 1

-Pesar 30g. de almidón de la muestra correspondiente.

-Calentar 200 mL de agua a 150°C en un vaso precipitado.

-Verter los 30g. de almidón sobre el agua mientras esta se está calentando y revolver constantemente (Véase figura 3.3).



*Figura 3-3: Mezcla de agua y almidón sobre calefactor. Fuente Elaboración propia*

-Agregar 7mL de vinagre y continuar revolviendo.

-Agregar 7mL de glicerina y continuar revolviendo.

-Continuar revolviendo la mezcla de agua-almidón-glicerina por aproximadamente unos 15 a 20 minutos hasta lograr una consistencia pastosa (véase figura 3.4). Seguir revolviendo periódicamente mientras se procede a realizar la segunda etapa del proceso.

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática



Figura 3-4: Mezcla almidón-glicerina-agua-vinagre ya tomando consistencia. Fuente: Elaboración propia

#### Parte 2

-Vaciar en un vaso precipitado los desechos a utilizar de la muestra correspondiente, ensamblar la licuadora de mano, picar y revolver con la ayuda de esta hasta formar una pulpa con los desechos. (100 g. de pulpa de desecho en cada caso)

-Preparadas ambas mezclas, unir los dos contenidos de los vasos precipitados, continuar licuando con ayuda del equipo ya mencionado y una vez homogenizada toda la mezcla, esparcir la muestra en una superficie limpia y plana, dejar secar y observar resultados.



Figura 3-5: Muestra de biopolímero fabricada con material de desecho de manzana. Fuente Elaboración propia

### 3.4 NOMENCLATURA DE LOS MATERIALES Y SUS VARIANTES

Los materiales realizados se dividen en 2 etapas de fabricación. La primera etapa son las muestras realizadas para la búsqueda de una combinación y proporción con los materiales seleccionados que dieran los mejores resultados visibles. Entre estos se pueden identificar 5 tipos de materiales y estos son:

**Materiales tipo A:** Son muestras realizadas en base a la mezcla de almidón de 3 fuentes y agua, sumado a un proceso de secado. Y su seudónimo es **bio-plástico tipo engrudo**.

**Materiales tipo B:** Son muestras realizadas con base de almidón de 3 fuentes, más glicerina y vinagre. Su seudónimo es **bio-plástico natural**.

**Materiales tipo C:** Son muestras realizadas con base de almidón de 3 fuentes, glicerina, vinagre y pulpa de desecho de manzana. Su seudónimo es **bio-plástico de manzana**.

**Materiales tipo D:** Son muestras realizadas con base de almidón de 3 fuentes, glicerina, vinagre y pulpa de desecho de tomate. Su seudónimo es **bio-plástico de tomate**.

**Materiales tipo E:** Son muestras realizadas con las mismas proporciones de las muestras anteriores en cuanto a la glicerina, vinagre y pulpa de desecho, pero con material base distinto. Su seudónimo es **bio-plástico reemplazo al almidón**.

La segunda etapa corresponde a las modificaciones realizadas en proporción y/o en materiales, a las muestras que se seleccionaron en la etapa anterior para continuar con el estudio de sus características. Entre estas se identifican 3 tipos de materiales y estos son:

**Materiales tipo F:** Son muestras realizadas cuya fabricación evalúa las modificaciones a la densidad de la pulpa de desecho y al tipo de pulpa utilizada.

**Materiales tipo G:** Son muestras realizadas cuya fabricación evalúa las modificaciones a la proporción de glicerina utilizada.

**Materiales tipo H:** Son muestras realizadas cuya fabricación evalúa el reemplazo de la glicerina.

## Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

### 3.4.1 Etapa 1

Tabla 3-4: Materiales fabricados en etapa 1 y sus proporciones. Fuente: Elaboración propia

Abreviatura	Tipo	Material	Cantidades Etapa 1							Comentarios basado en inspección visual y tacto
			Almidón	Agua	Vinagre	Glicerina	Pulpa desecho manzana	Pulpa desecho tomate	Otro desecho	
Engrudo	A1	Almidón de trigo + agua	30 g	200 mL	-	-	-	-	-	Material frágil sin posibilidad de estudio
	A2	Almidón de maíz + agua	30 g	200 mL	-	-	-	-	-	Material frágil adherido al papel
	A3	Almidón de papa + agua	30 g	200 mL	-	-	-	-	-	Material frágil y quebradizo
Bioplástico natural	B1	Almidón de trigo + glicerina	30 g	200 mL	7mL	7mL	-	-	-	Material frágil adherido al papel
	B2	Almidón de maíz + glicerina	30 g	200 mL	7mL	7mL	-	-	-	Material con resistencia y cierta flexibilidad, pero gran cantidad de poros
	B3	Almidón de papa + glicerina	30 g	200 mL	7mL	7mL	-	-	-	Material con resistencia, pero fragilidad en su perimetro y gran cantidad de poros
Bioplástico manzana	C1	Almidón de trigo + manzana	30 g	200 mL	7mL	7mL	100 g	-	-	Material frágil
	C2	Almidón de maíz + manzana	30 g	200 mL	7mL	7mL	100g	-	-	Material con resistencia y flexibilidad en condiciones de someter a pruebas mecánicas
	C3	Almidón de papa + manzana	30 g	200 mL	7mL	7mL	100g	-	-	Material quebradizo y poroso

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Bioplastico tomate	D1	Almidón de trigo + tomate	30 g	200 mL	7mL	7mL	-	100g	-	Material frágil y poroso
	D2	Almidón de maíz + tomate	30 g	200 mL	7mL	7mL	-	100g	-	Material con flexibilidad, elongación y consistencia, pero con presencia de hongos
	D3	Almidón de papa + tomate	30 g	200 mL	7mL	7mL	-	100g	-	Material con resistencia y flexibilidad en condiciones de someter a pruebas mecánicas
Varios (Reemplazo almidón)	E1	Pelusa de maíz + manzana	-	200 mL	7mL	7mL	100g		Pelusa de maíz: 30 g	Mezcla espesa, débil, adherida al papel con presencia de hongos
	E2	Tallo de cereza+ manzana	-	200 mL	7mL	7mL	100g		Tallo de cereza: 30 g	Mezcla espesa, débil, imposible de sacar del papel sin agrietarlo
	E3	Aserrín + manzana	-	200 mL	7mL	7mL	100g		Aserrín: 30 g	Mezcla espesa, débil, imposible de sacar del papel sin agrietarlo

En la tabla recién presentada se muestra en detalle la primera etapa de muestras realizadas, la cantidad de material utilizado en cada una, sus proporciones y una breve descripción del análisis visual y palpable que se le realizó a cada muestra.

En esta primera instancia la selección de los materiales que continuarían con el estudio de sus propiedades fue la siguiente:

- Material tipo C2: que corresponde al biopolímero de manzana, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana, glicerina, agua y vinagre.
- Material tipo D3: que corresponde al biopolímero de tomate, fabricado en base a almidón de papa, pulpa de desecho de tomate, glicerina, agua y vinagre.

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Y básicamente el criterio de selección de materiales, fue una discriminación visual y palpable de los materiales frágiles, quebradizos, sin resistencia, o incluso con generación de hongos en su proceso de secado.

A continuación se presentan ilustraciones de los resultados de los materiales seleccionados, y en los anexos (anexo 1), se ilustran la totalidad de muestras realizadas en esta primera etapa.

- Material tipo C2: que corresponde al biopolímero de manzana, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana, glicerina, agua y vinagre.



*Figura 3-6: Biopolímero de manzana, material tipo C2. Fuente: Elaboración propia*

- Material tipo D3: que corresponde al biopolímero de tomate, fabricado en base a almidón de papa, pulpa de desecho de tomate, glicerina, agua y vinagre.



*Figura 3-7: Biopolímero de tomate, material tipo D3. Fuente: Elaboración propia*

## Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

### 3.4.2 Etapa 2

Tabla 3-0-4: Materiales fabricados en etapa 2 y sus proporciones. Fuente: Elaboración propia

Variación	Tipo	Material	Cantidades Etapa 2							Comentarios basado en inspeccion visual
			Almidón	Agua	Vinagre	Glicerina	Pulpa desecho manzana	Pulpa desecho tomate	Otras sustancias	
Pulpa de desecho	F1	Almidon de maíz + manzana (60%)	30 g	200 mL	7mL	7mL	60g	-	-	Material con resistencia, flexibilidad en condiciones de someter a pruebas mecánicas
	F2	Almidón de papa + tomasa	30g	200 mL	7mL	7mL	-	Tomasa: 100g	-	Material con menor flexibilidad palpable pero en condiciones de someter a pruebas mecánicas
Porcentaje de glicerina	G1	Almidón de maíz + manzana + glicerina(50%)	30 g	200 mL	7mL	3,5 mL	100g	-	-	Material con baja resistencia y frágil.
	G2	Almidon de maíz + manzana + glicerina (200%)	30 g	200 mL	7mL	14 mL	100g	-	-	Material con resistencia, flexibilidad en condiciones de someter a pruebas mecánicas
Reemplazo glicerina	H1	Almidón de maíz + manzana + Aceite de oliva (7ml)	30 g	200 mL	7mL	-	100 g	-	Aceite de oliva : 7 mL	Material frágil, quebradizo
	H2	Almidón de maíz + manzana + Aceite de oliva (14ml)	30 g	200 mL	7mL	-	100 g	-	Aceite de oliva : 14mL	Material frágil, quebradizo y con presencia de hongos en su superficie
	H3	Almidon de maíz + manzana + etelingicol	30 g	200 mL	7mL	-	100 g	-	Etelingicol: 7mL	Material liquido, sin posibilidad de sacarlo del papel en que se secaba
	H4	Almidón de papa + etelingicol	30 g	200 mL	7mL	-	-	100 g	Etelingicol: 7mL	Material liquido, sin posibilidad de sacarlo del papel en que se secaba

En esta tabla con la segunda etapa de muestras realizadas, se evidencian la cantidad de material utilizado en cada muestra, y se resalta (con naranja), la variación respecto a los materiales seleccionados anteriormente. (Materiales C2 y D3)

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Al igual que en la etapa anterior y respecto a una clasificación visual y palpable de los materiales, los seleccionados para continuar con el estudio de sus propiedades fueron los siguientes:

- Material tipo F1: que corresponde al biopolímero de manzana modificado, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana (pero a una concentración del 60%: 60g pulpa de manzana + 40ml de agua), glicerina, agua y vinagre.
- Material tipo F2: que corresponde al biopolímero de tomate modificado, fabricado en base a almidón de papa, tomasa (piel y semilla del tomate) glicerina, agua y vinagre.
- Material tipo G2: que corresponde al biopolímero de manzana modificado, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana, glicerina en doble proporción a la inicial, agua y vinagre.

A continuación se presentan ilustraciones de los resultados de los materiales seleccionados, y en los anexos (anexo 2), se ilustran la totalidad de muestras realizadas en esta segunda etapa.

- **Material tipo F1:** corresponde al biopolímero de manzana (C2) modificado cuya fabricación evalúa las modificaciones a la densidad de la pulpa de desecho



*Figura 3-8: Material tipo F1: biopolímero de manzana modificado, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana (60gr pulpa de manzana 40ml de agua). Fuente: Elaboración propia*

### Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

- **Material tipo F2:** corresponde al biopolímero de tomate (D3) modificado cuya fabricación evalúa las modificaciones al tipo de pulpa utilizada.



*Figura 3-9: Material tipo F2: biopolímero de tomate modificado, fabricado en base a almidón de papa, Tomasa (piel y semilla del tomate). Fuente: Elaboración propia*

- **Material tipo G2:** corresponde al biopolímero de manzana (C2) modificado cuya fabricación evalúa las modificaciones al porcentaje de glicerina utilizada.



*Figura 3-10: Material tipo G2: biopolímero de manzana modificado, fabricado en base a almidón de maíz, pulpa de desecho de manzana, glicerina en doble proporción a la inicial. Fuente: Elaboración propia*

### **3.5 METODOLOGIA PARA EL CONTROL DE DEGRADACIÓN**

El estudio de la degradación de los materiales, se realiza con el fin de controlar y/o proyectar el tiempo que se tarda el medio ambiente en asimilar los nuevos biopolímeros a fabricar, para luego realizar una comparación de estos con los materiales ya existentes.

En la presente investigación, este ensayo básicamente consiste en utilizar muestras en probetas caracterizables (de 2 x 3,5 cm) de los materiales seleccionados y someterlos a tres condiciones ambientales distintas durante un lapsus de tiempo definido.

Las condiciones ambientales son las siguientes:

- Medio rocoso y seco.
- Medio líquido.
- Intemperie con humedad constante.

Y durante el transcurso de este lapsus de tiempo, se controlaran distintos factores, y estos son:

- Variación de peso.
- Variación de dimensiones (visualmente).
- Influencia de las condiciones climáticas en los materiales.

### **3.6 ESTANDARIZACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN Y DEGRADACIÓN**

Para un proceso de caracterización y posterior evaluación de resultados, es necesario poseer muestras estandarizadas y con dimensiones semejantes entre sí para poder realizar comparaciones entre sus propiedades. Por lo cual es necesario definir dimensiones para las muestras a estudiar en cada ensayo.

- Ensayo mecánico de tracción.
- Control de degradación.

## Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

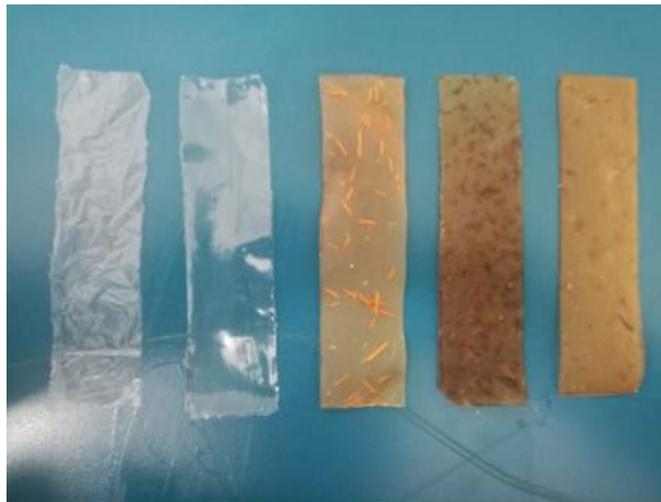
### 3.6.1 Muestras ensayos de tracción

Debido a que las muestras obtenidas son del tipo film, la estandarización del espesor de esta se tornó un proceso un poco más complejo.

Las dimensiones definidas para caracterizar las muestras son las siguientes:

- Largo: 10 cm.
- Ancho: 2.6 cm.
- Espesor: Variado según el material seleccionado.

\* El espesor al ser aun materiales prototipos, éste tiene ciertas variaciones y solo se centró la estandarización y utilización de la máquina, en que el espesor fuera homogéneo en toda la dimensión de la probeta.



*Figura 3-11: Probetas estandarizadas de 10 x 2.6 cm y espesor variado por temas del origen de las muestras. De izq. a derecha: Bolsa común-bolsa Ziploc-Material almidón de papa y tomate-Material almidón de maíz y manzana-Material almidón de papa y manzana. Fuente: Elaboración propia*

## Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

### 3.6.2 Muestras control de degradación

Para la realización del control de degradación, y en prioridad del tiempo de ejecución del mismo, las muestras a estandarizar se realizaron con probetas de dimensiones menores a los del ensayo de tracción, pero de igual modo son probetas medibles y caracterizables en las distintas condiciones ambientales.

Entonces las dimensiones definidas para caracterizar las muestras son las siguientes:

- Largo: 3,5 cm.
- Ancho: 2 cm.
- Espesor: Variado según el material seleccionado.

A continuación se presentan ejemplos de las probetas realizadas para realizar el control de degradación.



*Figura 3-12: Probetas estandarizadas de 2 x 3,5 cm y espesor variado por temas del origen de las muestras. De izq. a derecha: Material F1, D3, C2. Fuente: Elaboración propia*

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## 4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN

Para la obtención de los resultados involucrados en el ensayo de tracción es necesario realizar la representación gráfica de la curva de esfuerzo y deformación.

Para esto se utilizan los datos de tensión aplicada, área de la probeta, recorrido estándar, y mediante la formulación matemática de esfuerzo presentada a continuación, se realizan los gráficos a analizar en todos los materiales. (Véase gráficos realizados en el anexo 4)

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \left( \frac{F}{A_0} \right) \quad (1)$$

Mencionados ya los gráficos obtenidos de los ensayos de tracción, se presentan a continuación los parámetros involucrados, (estos son dimensiones, área y tensión aplicada a las probetas) y resultados a considerar en el análisis.

En cada uno de los materiales estudiados, se calcularon esfuerzo máximo, deformación de ruptura y módulo de elasticidad (Véase cálculos realizados en el anexo 3) diferenciando estos ensayos en dos etapas, las cuales son las siguientes:

Etapas 1: Primeras pruebas realizadas, considerando los dos ensayos de familiarización realizados a los polímeros artificiales y los 2 ensayos realizados a los primeros materiales biopolímeros creados. (Los que visualmente presentaron propiedades mecánicas que permitían ser estudiadas mediante el ensayo de tracción). A continuación en las tablas 4.1 y 4.3, se evidencian las dimensiones involucradas en los ensayos realizados y en las tablas 4.2 y 4.4 se muestran los resultados obtenidos.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

### Nomenclatura utilizada

- $A_0$  : área de la probeta
- $b$  : ancho
- $h$  : espesor
- $L_0$ : longitud inicial
- $\Delta_{LR}$ : alargamiento de ruptura.
- $\epsilon_m$  : deformación bajo máxima tensión
- $\epsilon_B$  : deformación de ruptura
- $\sigma_m$ : Esfuerzo en tracción (resistencia a la tracción.)
- $E$ : módulo elasticidad

Tabla 4-1: Dimensiones involucradas en ensayos realizados en etapa uno. Fuente: Elaboración propia

Biopolímeros fabricados: etapa 1	$A_0$	$b$	$h$	$\Delta_{LR}$	$L_0$
	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm
Bolsa fina plástico transparente	0,26	26	0,01	-	11,5
Bolsa ziploc	1,04	26	0,04	-	11,5
Material C2: Almidón de maíz + manzana	42,64	26	1,64	7,09	15
Material D3: Almidón de papa + tomate	16,9	26	0,65	12,75	11,5

Tabla 4-2: Resultados obtenidos en ensayos de tracción realizados etapa uno. Fuente: Elaboración propia

Biopolímeros fabricados: etapa 1	$\sigma_M$	$\epsilon_M$	$\epsilon_B$	$E$
	MPa	%	%	Mpa
Bolsa fina plástico transparente	13,2682	25,4695	-	-
Bolsa ziploc	21,4978	437,0318	-	-
Material C2: Almidón de maíz + manzana	3,7892	37,5060	47,3177	7,5029
Material D3: Almidón de papa + tomate	4,4777	101,6703	111,5190	10,5909

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

Etapa 2: En esta segunda tanda de ensayos, después de realizar variadas modificaciones a los primeros materiales obtenidos, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4-3: Dimensiones involucradas en ensayos realizados en etapa dos. Fuente: Elaboración propia

Biopolímeros fabricados: etapa 2	$A_0$	b	h	$\Delta_{LR}$	L0
	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm
Material F1: Almidón de maíz + desecho de manzana (60%) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)	12,2	26	0,47	8,62	12
Material F2: Almidón de papa + desecho de tomate (tomasa) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)	61,4	26	2,36	3,57	15
Material G2: Almidón de maíz + desecho de manzana + glicerina (14ml) + vinagre (7ml)	14,3	26	0,55	8,11	15

Tabla 4-4: Resultados obtenidos en ensayos de tracción realizados etapa dos. Fuente: Elaboración propia

Biopolímeros fabricados: etapa 2	$\sigma_M$	$\epsilon_M$	$\epsilon_B$	E
	MPa	%	%	Mpa
Material F1: Almidón de maíz + desecho de manzana (60%) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)	2,9110	65,3769	75,9949	9,0718
Material F2: Almidón de papa + desecho de tomate (tomasa) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)	0,0940	6,3689	23,8574	1,1964
Material G2: Almidón de maíz + desecho de manzana + glicerina (14ml) + vinagre (7ml)	2,0003	50,7520	54,0401	7,7245

## **4.2 RESULTADOS DEL CONTROL DE DEGRADACIÓN**

Considerando los valores obtenidos en los ensayos de tracción antes mencionados, se realiza la selección de muestras para un control en su degradación en base a los materiales que han presentado mayor capacidad de esfuerzo en tracción. Esta selección consta de:

- Material tipo C2: Biopolímero de manzana
- Material tipo D3: Biopolímero de tomate
- Material tipo F1: Biopolímero de manzana, con modificación pulpa de desecho

Las muestras fueron ordenadas en grupos de tres (con una muestra material C2, D3, F1 cada una) y se ubicaron en cada una de las condiciones ambientales a considerar, quedando todo detallado en Anexo 5, donde se presenta el control de masa realizado a cada una de las muestras en los tres ambientes estudiados.

Mencionada ya la variación de masa de cada material en el transcurso de los días, se muestran los gráficos que representan dicha variación o cambio, poniendo especial énfasis en una comparación del cambio de masa en las distintas condiciones ambientales para un mismo material.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

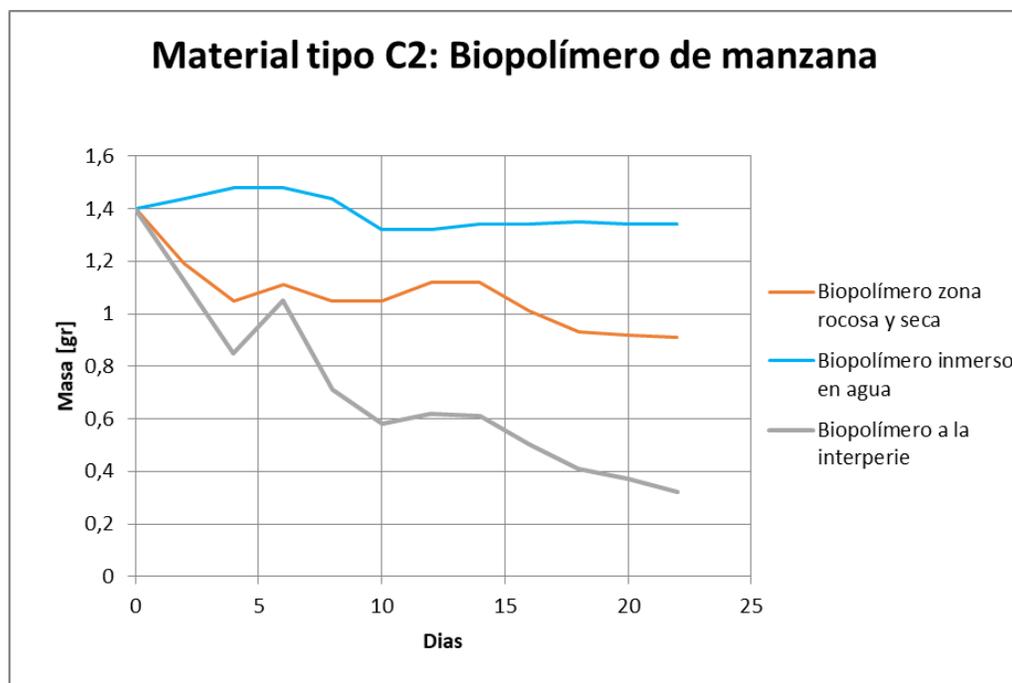


Gráfico 4-1: Variación de masa para material tipo C2: Biopolímero de manzana. Fuente: Elaboración propia

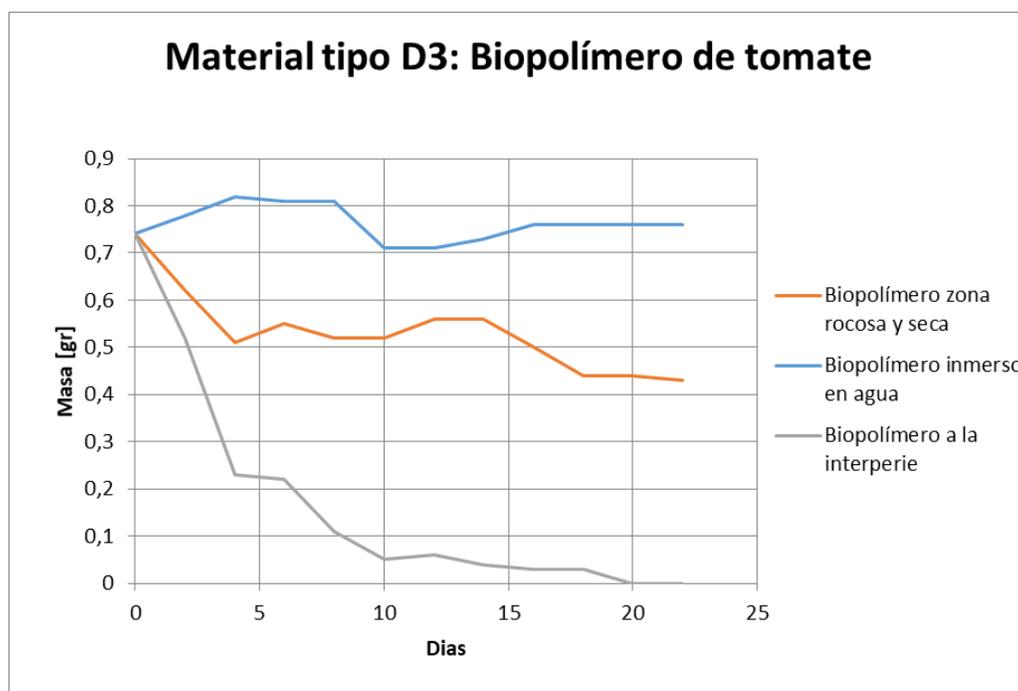


Gráfico 4-2: Variación de masa para material tipo D3: Biopolímero de tomate. Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

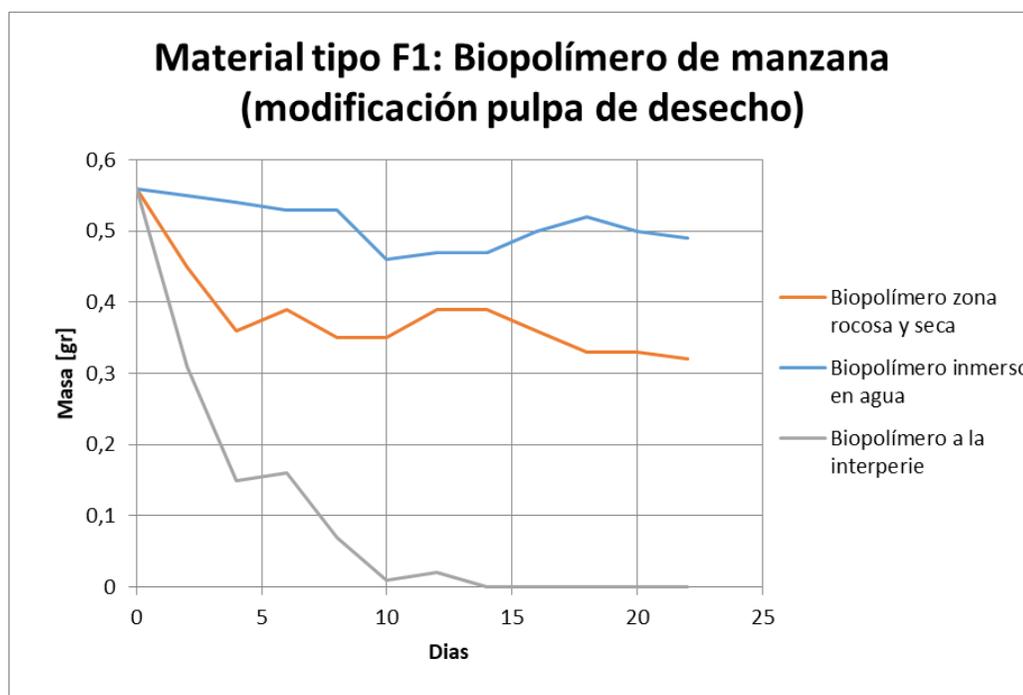


Gráfico 4-3: Variación de masa para material tipo F1: Biopolímero de manzana modificado. Fuente: Elaboración propia

A partir de los gráficos anteriores, se infiere que los factores externos han influido considerablemente en la degradación y/o asimilación del medio ambiente en cada material, haciendo mención a las diferencias notorias en los materiales al ser sometido a la intemperie (en un medio con constante humedad e insectos). En las siguientes ilustraciones queda patente el cambio en el aspecto de los materiales según los días transcurridos:

### Día 1: Control de degradación



Figura 4-1: Probetas estandarizadas de 2 x 3,5 cm De izq. a derecha: Material F1, D3, C2. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

### Día 4: Control de degradación

- Muestras en medio líquido



Figura 4-2: Probetas sometidas a medio líquido día 4. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras en medio rocoso y seco



Figura 4-3: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 4. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras a la intemperie (humedad constante)



Figura 4-4: Probetas sometidas a la intemperie día 4. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

### Día 8: Control de degradación

- Muestras en medio líquido



Figura 4-5: Probetas sometidas a medio líquido día 8. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras en medio rocoso y seco



Figura 4-6: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 8. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras a la intemperie (humedad constante)



Figura 4-7: Probetas sometidas a la intemperie día 8. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

### Día 12: Control de degradación

- Muestras en medio líquido



Figura 4-8: Probetas sometidas a medio líquido día 12. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras en medio rocoso y seco



Figura 4-9: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 12. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras a la intemperie (humedad constante)



Figura 4-10: Probetas sometidas a la intemperie día 12. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

### Día 24: Control de degradación

- Muestras en medio líquido



Figura 4-11: Probetas sometidas a medio líquido día 24. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras en medio rocoso y seco



Figura 4-12: Probetas sometidas a medio rocoso y seco día 24. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

- Muestras a la intemperie (humedad constante)



Figura 4-13: Probetas sometidas a la intemperie día 24. De izq. a derecha Material tipo F1, C2 y D3. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta el análisis, el cual se subdivide en 6 etapas de evaluación, donde se describe cada una de ellas y los parámetros analizados:

**Etapa 1:** en la primera fase de fabricación se realiza la búsqueda de proporciones para la adecuada elaboración de un biomaterial, en esta etapa y debido a una evaluación visual y palpable de los materiales realizados, solo dos de estos tenían las condiciones necesarias para su posterior evaluación mecánica, estos fueron el biopolímero de manzana C2 y biopolímero de tomate D3. Realizados los ensayos de tracción se obtuvieron las siguientes curvas de deformación, (gráfico 4.4) donde se evidencia que el material fabricado en base a almidón de papa (D3) (4,47 MPa), presente una mayor resistencia de esfuerzo en tracción, que el material fabricado en base a almidón de maíz (C2) (3,78 MPa), esto se vincula al origen del material base, ya que como se menciona en la sección 2.4.2 la cantidad de amilosa que posee un almidón influye directamente la resistencia y elongación que posea el nuevo material, encontrándose en este caso con un material que posee un 80% de amilosa (Almidón de papa), versus un material que posee un 27% de amilosa. (Almidón de maíz)

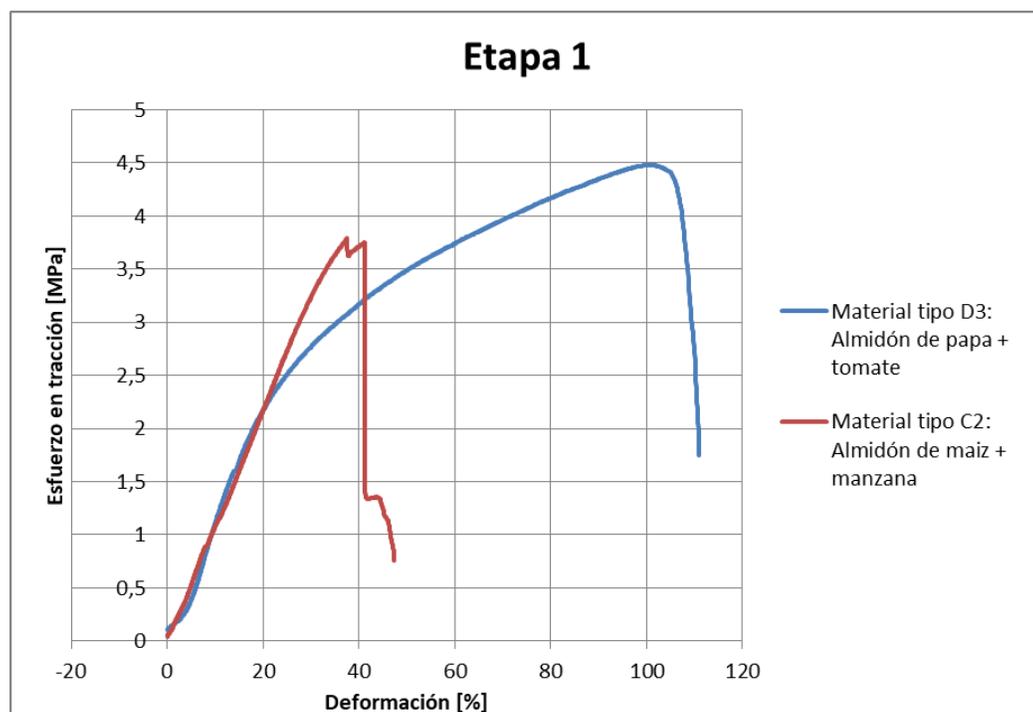


Gráfico 4-4: Gráfico comparativo etapa 1. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

**Etapa 2:** en la segunda fase de fabricación, se realizan varias modificaciones a los materiales mencionados en la etapa anterior, con el fin de encontrar variaciones en las propiedades mecánicas de estos.

En esta etapa la variación realizada fue en la pulpa de desecho agregada a cada material seleccionado. Las modificaciones realizadas fueron las siguientes:

- Al biopolímero de manzana C2, se modificó la densidad de la pulpa desecho y se disminuyó a un 60% su concentración y dio origen al biopolímero de manzana modificado F1.
- Al biopolímero de tomate D3, se modificó el origen de la pulpa desecho. De utilizar el desecho de tomate con un porcentaje variable de pulpa interna, se utilizó la tomasa (cascaras y semillas de tomate con un bajo porcentaje de humedad) y dio origen al biopolímero de tomate modificado F2.

Realizados los ensayos de tracción a ambos materiales se puede observar en la gráfica 4.5, que el material modificado F2, no presentó mejoras en los números obtenidos en el ensayo de tracción, asociándose esto a la baja cantidad de humedad del material aportante, y a posibles factores externos o de homogenización de la muestra con la tomasa.

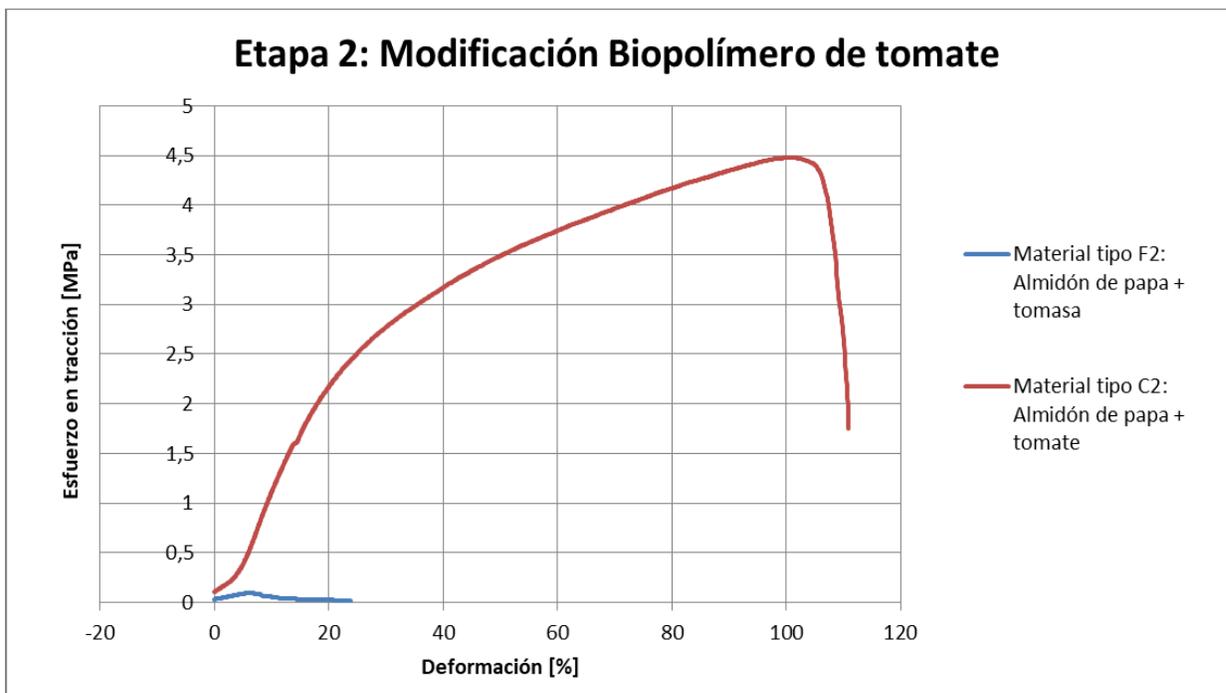


Gráfico 4-5: Gráfico comparativo etapa 2. Modificación biopolímero de tomate. Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

	Biopolímero tomate D3	Biopolímero de tomate modificado F2 (tomasa)
Esfuerzo a tracción (Mpa)	4,477	0,093
Deformación de ruptura (%)	110,91	23,857
Módulo elástico (Mpa)	10,59	1,196

*Tabla 4-5: Tabla comparativa material D3 y F2. Fuente: Elaboración propia*

Mientras tanto el material modificado F1, que si bien como se observa en el gráfico 4.6, su resistencia a la tracción disminuyo de 3,7 MPa a 2,9 MPa aproximadamente, su módulo elástico, alargamiento de ruptura y deformación de ruptura aumento (véase tabla 4.6) en consideración respecto a su material inicial (biopolímero C2), por lo que este fenómeno se asocia a la menor densidad de la pulpa de desecho aportante, que influye de forma directa en la elasticidad del nuevo material a crear, como se puede observar en la siguiente gráfica comparativa.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

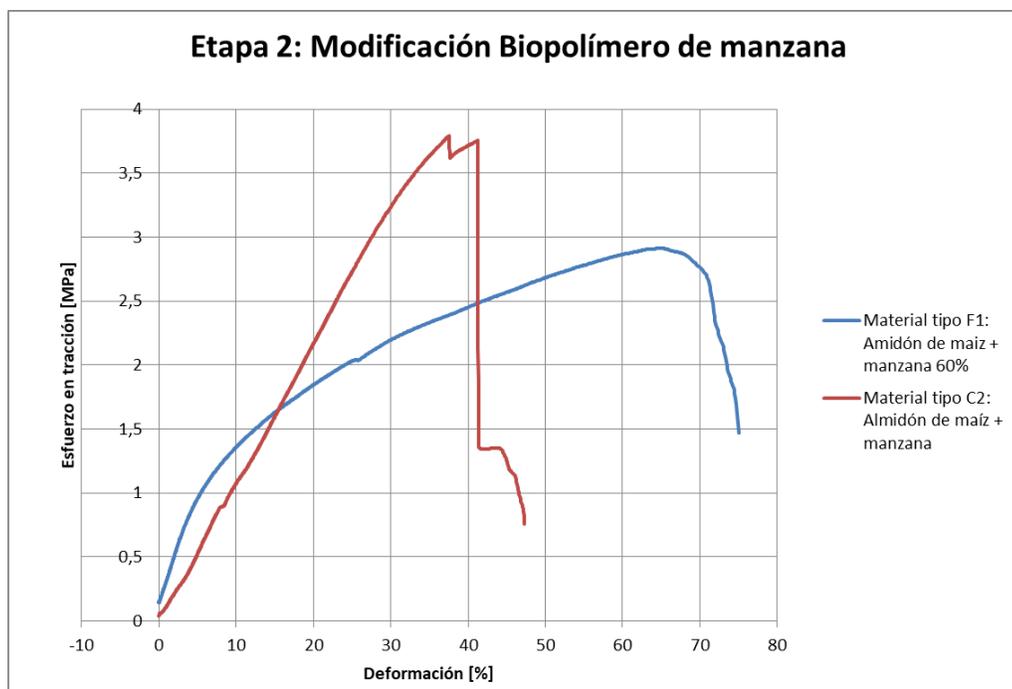


Gráfico 4-6: Gráfico comparativo etapa 2. Modificación biopolímero de manzana. Fuente: Elaboración propia

	Biopolímero manzana C2	Biopolímero manzana modificado F1
Esfuerzo a tracción (Mpa)	3,789	2,91
Deformación de ruptura (%)	47,26	74,99
Módulo elástico (Mpa)	7,502	9,071

Tabla 4-6: Tabla comparativa material C2 y F1. Fuente: Elaboración propia

**Etapa 3:** continuando con las modificaciones, en esta etapa la variación a estudiar es la proporción de glicerina utilizada materiales realizados, específicamente la proporción de glicerina en el biopolímero de manzana C2.

Las modificaciones realizadas fueron las siguientes:

#### Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

- Al biopolímero de manzana C2, se modificó la proporción de glicerina y se utilizó un 50% de la cantidad inicial (De 7 mL se utilizan 3,5 mL) y dio origen al biopolímero de manzana modificado G1.
- Al biopolímero de manzana C2, se modificó la proporción de glicerina y se aumentó un 100 % la cantidad inicial (De 7 mL se utilizan 14 mL) y dio origen al biopolímero de manzana modificado G2.

En cuanto a los resultados obtenidos, el biopolímero modificado G1 no presentó características mecánicas medibles, ya que al tacto se evidencia que es un material frágil y poco flexible para ser sometido a un ensayo de tracción, por lo cual no se continuó con el estudio de sus propiedades.

Por otro lado el biopolímero modificado G2, presentó características mecánicas medibles, se realizó el ensayo de tracción correspondiente y como se evidencia en la tabla 4.7 y la gráfica 4.7 el material aumentó levemente su alargamiento y deformación de ruptura, su deformación elástica, pero disminuyó considerablemente su resistencia al esfuerzo en tracción de 3,78 MPa a 2 MPa. Por ende se infiere que la proporción de la glicerina influye en la elasticidad y alargamiento del material. Este plastificante reduce significativamente la resistencia a la tracción del material si su contenido en peso (sin considerar el solvente) supera el 7 % del total de la mezcla. Para contenidos sobre el 12% p/p de glicerina se aprecia un cierto grado de mejora en la capacidad elástica del material.

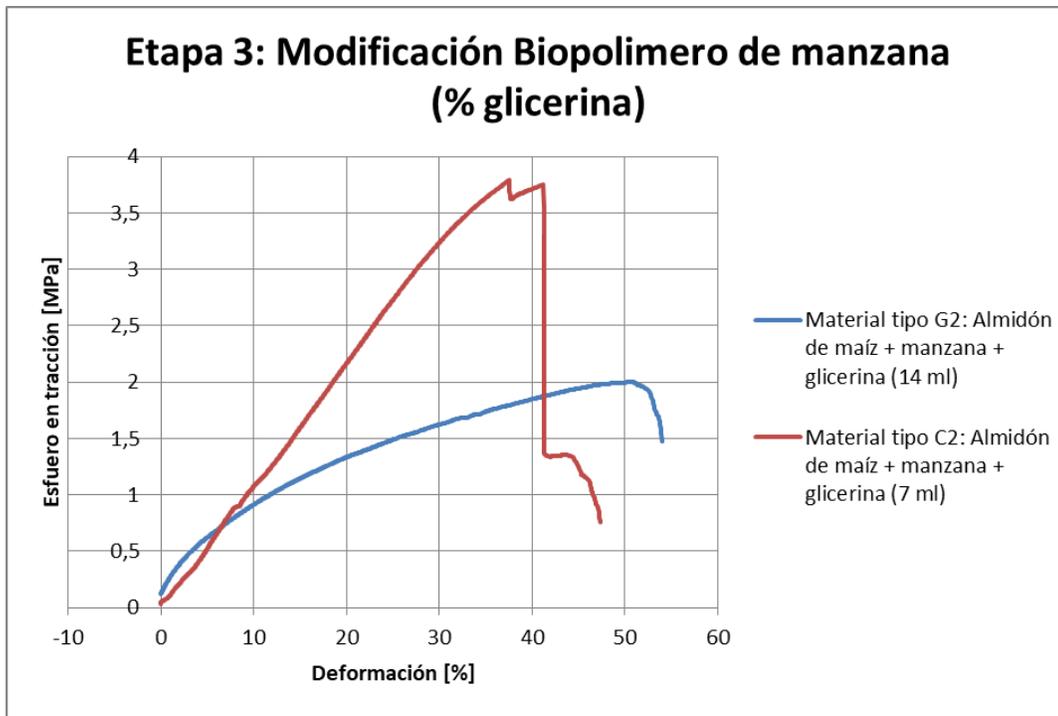


Gráfico 4-7: Gráfico comparativo etapa 3. Modificación biopolímero de manzana. Fuente: Elaboración propia

	Biopolímero manzana C2	Biopolímero manzana modificado G2
Esfuerzo a tracción (Mpa)	3,789	2
Deformación de ruptura (%)	47,26	54,04
Módulo elástico (Mpa)	7,502	7,724

Tabla 4-7: Tabla comparativa material C2 y G2. Fuente: Elaboración propia

**Etapa 4:** en esta etapa de la experimentación y en la búsqueda de un material sustituto capaz de reemplazar a la glicerina, se realizaron nuevos materiales a partir de las recetas ya utilizadas, específicamente se utilizó la receta del biopolímero de manzana C2 y la receta del biopolímero D3 y solo se reemplaza la glicerina como el agente plastificante.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

Las modificaciones realizadas fueron las siguientes:

- Al biopolímero de manzana C2, se modificó la glicerina y en su reemplazo se utilizó aceite de oliva por su alto contenido de glicerol en una proporción idéntica a la de glicerina (7 mL de aceite de oliva) y dio origen al biopolímero de manzana modificado H1.
- Al biopolímero de manzana C2, se modificó la glicerina y en su reemplazo se utilizó aceite de oliva pero esta vez en una proporción mayor a la inicial (14 mL de aceite de oliva) y dio origen al biopolímero de manzana modificado H2.
- Al biopolímero de manzana C2, se modificó la glicerina y en su reemplazo se utilizó etilenglicol por su contenido de glicerol y dio origen al biopolímero de manzana modificado H3.
- Al biopolímero de tomate D3, se modificó la glicerina y en su reemplazo se utilizó etilenglicol por su contenido de glicerol y dio origen al biopolímero de tomate modificado H4.

En cuanto a los resultados obtenidos, ninguno de los materiales realizados en esta etapa entregó características mecánicas medibles, como se puede evidenciar en la tabla 3.5 y en el anexo 2 en las muestras tipo H “bio-plástico con reemplazo de la glicerina”. Por lo cual al menos en esta experimentación no se encontró un material capaz de reemplazar la propiedad plastificante que la glicerina otorga al nuevo biomaterial a fabricar.

**Etapa 5:** en consecuencia de los tres materiales que presentaron mejores resultados en su resistencia a la tracción, se les realizó un básico estudio de degradación, en diferentes condiciones ambientales, para controlar su variación de masa y dimensiones.

Estos materiales fueron:

- Bio-polímero de manzana C2
- Bio-polímero de tomate D3
- Bio-polímero modificado de manzana F1

Y respecto a este análisis se divide en tres procesos:

1) Biomateriales inmersos en agua: como se evidencia en la sección 4.3 los biopolímeros inmersos en agua presentan comportamientos similares durante su control de degradación.

## Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

Los biomateriales C2 y D3 el día 4 de degradación evidencian un leve aumento en su masa (tabla 4.3), para luego desde el día 8 en adelante disminuya esta de forma tenue. Esto se asocia a las condiciones de la experimentación; es decir, un error de manipulación de los materiales, donde la cantidad de agua adherida al material en el traslado de la zona de prueba a la pesa, se torna difícil de controlar en condiciones que no son las de un laboratorio de trabajo.

Por su parte como se observa en la figura 4.11, el biopolímero C2 evidencia grietas en su estructura, mientras que el material D3 no presenta modificaciones estructurales ni de resistencia, al menos inspeccionadas de forma palpable y visual. Esto se vincula al origen del material base, ya que como se menciona en la sección 2.4.2 el almidón al tener un mayor porcentaje de amilopectinas entrega materiales más permeables al agua, pero con menor resistencia y elasticidad. Es decir los materiales fabricados con almidón con un alto porcentaje de amilopectinas se tornan débiles frente al contacto con agua, como lo evidenciado anteriormente. (donde el biopolímero C2, presenta un contenido de 73% de amilopectina, frente al biopolímero D3, que posee solo un 20% de amilopectina)

2) Biomateriales en zona rocosa y seca: Como se evidencia en las tablas de control de peso del anexo 5, los tres biomateriales tuvieron un comportamiento similar, donde su masa fue disminuyendo progresivamente con el pasar de los días. Asociado también a esto e inspeccionado visualmente, en estos tres biomateriales también disminuye la elasticidad. Por ende se vincula la pérdida de elasticidad de estos a la pérdida de masa y se infiere que existe una pérdida de humedad no medible en las condiciones de trabajo.

3) Biomateriales a la intemperie: En este proceso el comportamiento evidenciado en las figuras de la sección 4.3 fue de forma similar en las tres biomateriales, todos fueron asimilados por el ambiente ya sea por los micro o macro organismos, como se evidencian en las figuras 4.4, 4.7, 4.10 y 4.13. Donde es posible observar que con el transcurso de los días las muestras con menor espesor C2 y D3 tienen una disminución en su estructura considerable, además de comentar la presencia de caracoles y babosas rodeando los materiales durante el proceso de degradación.

Son estos factores externos los que son asociados a la tan temprana asimilación de los biomateriales por parte del ambiente al que fueron expuestos. Ahora bien por su parte los materiales fueron asimilados de la siguiente forma:

#### Capítulo 4. Resultados y discusión de resultados

- Bioplástico de manzana C2: al día 24 de control de degradación el material presenta una disminución de masa de un 75% aprox.  
Masa inicial al día 1: 1,4 g.  
Masa final al día 24: 0,34 g.
- Bioplástico de tomate D3: Al día 20 de control de degradación el material fue asimilado completamente por el ambiente que lo rodea, teniendo una masa final de 0 g.
- Bioplástico modificado de manzana F1: Al día 12 de control de degradación el material fue asimilado completamente por el ambiente que lo rodea, teniendo una masa final de 0 g.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

Al desarrollar la investigación, discusión de los resultados y la verificación del cumplimiento de los objetivos específicos, se concluye que:

1. En el desarrollo del objetivo uno, mediante una revisión bibliográfica, se logró identificar los materiales biodegradables existentes, sus características, y la importancia del origen orgánico estos mismos. Se destacan los dos materiales más trabajados a nivel comercial, como lo son el PLA y el PHA, haciendo mención a su composición y a su proceso de degradación en lo que se resalta que a pesar de que son materiales biodegradables, en su proceso de degradación se libera metano a la atmosfera (gas que contribuye al efecto invernadero).

En otro aspecto se hace mención a los productos biodegradables existentes actualmente en el mercado, donde se muestra que los utensilios desechables y biodegradables en su composición presentan un porcentaje no menor de 30% de resina reciclable de P.P (polipropileno: un plástico sintético obtenido de combustibles fósiles.)

2. En el desarrollo del objetivo dos, mediante una revisión bibliográfica, se determinaron las propiedades y parámetros a evaluar en el material biodegradable a fabricar, donde se destaca el ensayo de tracción como método de evaluación de la resistencia, deformación y elasticidad del nuevo material; desarrollando los parámetros mencionados y sus fórmulas asociadas.

3. En el desarrollo del objetivo tres, mediante una fabricación experimental, se elaboraron bioplásticos biodegradables a partir de almidón de papa y de maíz, los cuales fueron complementados con desechos orgánicos presentes en la región del Maule, provenientes de la manzana y el tomate.

Entre estos se destacan los biopolímeros:

- Biopolímero de manzana tipo C2: Fabricado a partir de almidón de maíz + desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua.
- Biopolímero de tomate tipo D3: desecho de tomate + glicerina + vinagre + Fabricado a partir de almidón de papa + agua.

## Conclusiones

- Biopolímero de manzana modificado tipo F1: Fabricado a partir de almidón de maíz + desecho de manzana (a una densidad del 60%) + glicerina + vinagre + agua.

La dificultad en el desarrollo de este objetivo fue la obtención de la proporción exacta para fabricar un biomaterial capaz de ser sometido a estudio.

4. En el desarrollo del objetivo cuatro, mediante un trabajo experimental, se evaluaron las propiedades mecánicas de los biopolímeros, donde mediante los ensayos de tracción realizados se obtuvieron: el esfuerzo en tracción, la deformación, módulo de elasticidad y alargamiento de ruptura de estos materiales, los que indicaron características similares a los plásticos de origen sintético.

Entre estos biopolímeros se destacan los parámetros obtenidos en el biopolímero de tomate D3, el que obtuvo una resistencia a la tracción de 4,477 MPa, la que es la mayor resistencia todas las recetas elaboradas.

Otros parámetros de interés obtenidos del ensayo de tracción son:

- Alargamiento de ruptura ( $\Delta_{LR}$ ): 12,754 mm.
- Deformación de ruptura: 110,91%
- Módulo de elasticidad: 10,591 MPa.

Dejando en evidencia que el material D3, fue el que obtuvo mejores características mecánicas del total de materiales estudiados.

5. En el desarrollo del objetivo cinco, mediante un control de degradación experimental básico, se concluye que los tiempos de degradación de los biopolímeros evaluados son relativamente bajos en comparación a los polímeros sintéticos. Esto se puede evidenciar de forma rápida al someter estos materiales a la intemperie, donde en esta investigación logran degradarse en menos de un mes de evaluación.

La biodegradación de los tres biopolímeros evaluados (Biopolímeros C2, D3 y F1) al ser sometido a la intemperie, posee una disminución de al menos un 75% de su masa en menos de un mes, en lo que netamente se destaca la diferencia de espesor que estos materiales presentan. La selección del medio ambiente en el que se realizó cada estudio de degradación, viene dado por los factores necesarios para la degradación del almidón. Estos factores son la presencia de microorganismos, aire, humedad y minerales.

## Conclusiones

A partir del análisis realizado, se obtiene que el bioplástico con mejor evaluación respecto al conjunto de materiales fabricados es el **biopolímero de tomate D3**. Esto queda demostrado tanto en sus propiedades mecánicas, como en su proceso de degradación, donde destaca la no disminución perceptible de su masa durante el proceso de degradación en un ambiente inmerso en agua.

Entre los posibles usos que se pueden fomentar a partir de las características obtenidas en este material, se puede mencionar la fabricación de envases contenedores de semillas y/o brotes de árboles para la reforestación de bosques nativos, siendo un envase capaz de tolerar en cierta parte el medio que lo rodeara y luego de eso ser asimilado por el mismo.

En definitiva, las propiedades mecánicas de estos biopolímeros son generalmente inferiores a las de los polímeros derivados de la petroquímica. Son fáciles de procesar, pero vulnerables a la degradación. Es por eso que el rango de aplicaciones de estos biopolímeros será acotado.

Los objetivos planteados para el desarrollo de la problemática fueron resueltos en su totalidad, planteando a continuación propuestas o sugerencias a futuras investigaciones a realizar con el tema.

Y como propuestas a la investigación realizada se tienen las siguientes:

- Se recomienda mejorar la calidad del biopolímero mediante el uso de aditivos que mejoren la resistencia, elongación o aportar nuevos atributos a la solución. (ejemplo: fertilizantes)
- El proceso de fabricación del material debe de realizarse en un ambiente controlado, sin exposición a factores externos, porque de eso depende la calidad del biopolímero.
- El secado del almidón y del biopolímero si es posible debe ser realizado en un horno de secado, ya que si se hace mediante temperatura ambiente y luz solar, el proceso se alarga y el material puede llegar a generar hongos
- Estudiar qué otros tipos de uso se le puede dar al biopolímero obtenido, ya que conociendo las utilidades de este, se abriría un potencial mercado en productos biodegradables, debido a su temprana degradación en el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- Antonio Balvantín, D. d. (2016). *Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales*. Irapuato-Salamanca: División de ingenierías .
- ArgenBio. (2007). *Consejo Argentino para la formación de biotecnología*. Obtenido de Argenbio.org: <http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades&note=200>
- CEAP, Región del Maule. (2016). *Centro de estudios en alimentos procesados*. Obtenido de <http://www.ceap.cl/sitio/?qsomos>
- Eldesconcierto. (19 de junio de 2018). *El Desconcierto.cl*. Obtenido de <https://www.eldesconcierto.cl/2018/06/19/estudiantes-chilenos-crean-plastico-biodegradable-a-base-de-alcachofas-y-que-sirve-como-abono-para-la-tierra/>
- Escalona, A. M. (2009). *Manual de cultivo de tomate*. Santiago: Facultad de Cs Agrónomicas Universidad de Chile.
- Fundación Aquae. (S.F). *¿Que es el agua? Fundacion aquae*. Obtenido de ¿Qué es el agua?: tipos, composición y funciones: <https://www.fundacionaquae.org/que-es-el-agua/>
- Hernández Mónica, G. B. (2009). *Biopolímeros empleados en la fabricación de envases para alimentos* . San Juan, Colombia: Revista especializada en Ingeniería de procesos en alimentos y biomateriales. Universidad de Nariño.
- Industriales, E. E. (2005). *Producción biotecnológica de ácido láctico*. Obtenido de <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm>
- J.Wright, R. A.-W. (2016). *The science engineering of materials*. Ciudad de México, Versión latinoamericana: Cengage Learning.
- Javier Luque, Á. d. (14 de Mayo de 2015). *Área de ingeniería industrial FdeT (Areatecnologia.com)* . Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
- Karaky, M. B. (2019). Characterization of beet-pulp fiber reinforced potato starch biopolymer. En M. B. Karaky, *Construction and buildings materials* (págs. 711-721). Sciencedirect.
- Mariano Male, T. Q. (27 de Junio de 2011). *Tecnologiadelosplasticos.blogspot.com*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

## Referencias

- Miriam Gallur Blanca, I. (23 de Febrero de 2011). *EasyFairs-Packaging Innovations*. Obtenido de ITENE (instituto Tecnológico de embalaje y logística: [https://www.easyfairs.com/uploads/tx\\_ef/m.gallur\\_itene.pdf](https://www.easyfairs.com/uploads/tx_ef/m.gallur_itene.pdf))
- Pino, M. L. (2007). *TRATAMIENTOS POSTFERMENTATIVOS DEL VINAGRE: conservación en botella, envejecimiento acelerado y eliminación del plomo*. Tarragona: Departamento de Bioquímica y Biotecnología Universidad Rovira i Virgili.
- Plascencia, D. D. (2015). *Aprovechamiento y uso de la manzana de desecho en la ganadería del estado de chihuahua*. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- PrensaUCM. (27 de julio de 2016). *Vrip.Ucm.CL*. Obtenido de <http://www.vrip.ucm.cl/ucm-logra-produccion-de-bioplasticos-a-partir-de-materias-primas-de-origen-natural/>
- Rosales, S. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta)*. Managua : UNAN (Universidad nacional de Nicaragua).
- Rubio, A. L. (12 de Agosto de 2015). *Ciencia para llevar*. Obtenido de Biopolimeros los Plasticos del futuro: <https://blogs.20minutos.es/ciencia-para-llevar-csic/2015/08/12/biopolimeros-los-plasticos-del-futuro/>
- Ruiloba, L. Q. (2018). *Bioplastic production from mando seed starch*. Panamá: RIC.
- Seipel, P. G. (2009). *Caractetísticas fisicoquímicas de los frutos de tres variedades de manzanas cultivadas en la región centro-este de la provincia de Santa -fe*. Santa-fe: FAVE sección Ciencias Agrarias .
- USGS Science for a changing world. (08 de Nov. de 2017). *La ciencia del agua, propiedades del agua* . Obtenido de <https://water.usgs.gov/gotita/waterproperties.html>
- UV, Máster universitario en Química. (12 de Febrero de 2016). *La versatilidad de la glicerina: desde la industria alimentaria hasta la farmacéutica*. Obtenido de Universidad de Valencia (uv.es/uvweb/master-quimica): <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/versatilidad-glicerina-industria-alimentaria-farmaceutica-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285957782481>
- Zoffoli, E. N. (2015). *El futuro de los biopolímeros en el envase de frutas*. Obtenido de Agronomía y forestal Uc N°52: <http://agronomia.uc.cl/extension/141-el-futuro-de-los-biopolimeros-en-el-envase-de-frutas/file>

## **ANEXO 1 ILUSTRACIONES MUESTRAS DE BIOPOLIMEROS REALIZADOS EN LA ETAPA 1**

- **Muestras tipo A “bio-plástico engrudo”**

A1: Almidón de trigo + agua



A2: Almidón de maíz + agua



A3: Almidón de papa + agua



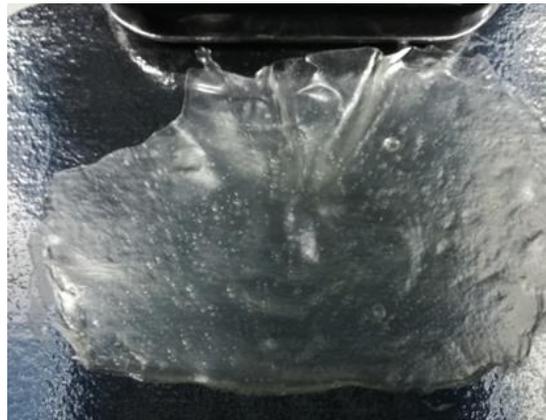
## Anexos

- **Muestras tipo B “bio-plástico natural”**

B1: Almidón de trigo + glicerina + vinagre + agua



B2: Almidón de maíz + glicerina + vinagre + agua



B3: Almidón de papa + glicerina + vinagre + agua



Anexos

- **Muestras tipo C “bio-plástico de manzana”**

C1: Almidón de trigo + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



C2: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



C3: Almidón de papa + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



Anexos

- **Muestras tipo D “bio-plástico de tomate”**

D1: Almidón de trigo + pulpa de desecho de tomate + glicerina + vinagre + agua



D2: Almidón de maíz + pulpa de desecho de tomate + glicerina + vinagre + agua



D3: Almidón de papa + pulpa de desecho de tomate + glicerina + vinagre + agua



Anexos

- **Muestras tipo E “bio-plástico reemplazo al almidón”**

E1: Aserrín + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



E2: Tallo cereza + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



E3: Pelusa de maíz + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



## **ANEXO 2 ILUSTRACIONES MUESTRAS DE BIOPOLIMEROS REALIZADOS EN LA ETAPA 2**

- **Muestras tipo F “bio-plástico con modificaciones a la pulpa de desecho”**

F1: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + glicerina + vinagre + agua



F2: Almidón de papa + pulpa de desecho de tomate (tomasa) + glicerina + vinagre + agua



- **Muestras tipo G “bio-plástico con modificaciones a la proporción de glicerina”**

G1: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + 3,5 ml de glicerina + vinagre + agua



## Anexos

G2: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + 14 ml de glicerina + vinagre + agua



- **Muestras tipo H “bio-plástico con reemplazo de la glicerina”**

H1: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + 7 ml de aceite de oliva + vinagre + agua



H2: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + 14 ml de aceite de oliva + vinagre + agua



## Anexos

H3: Almidón de maíz + pulpa de desecho de manzana + 7 ml de etilenglicol + vinagre + agua



H4: Almidón de papa + pulpa de desecho de tomate + 7 ml de etilenglicol + vinagre + agua



## ANEXO 3 MEMORIA DE CÁLCULO EN BIOPOLÍMEROS C2-D3-F1-F2-G2

### BIOPOLÍMERO DE MANZANA C2

Almidón de maíz (30gr) + Manzana (100gr) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)

Datos:

<b>F<sub>máx</sub></b> : fuerza a la tensión máxima soportada	161,57[N]
<b>A<sub>0</sub></b> (área inicial)	42,64[mm <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>0</sub></b> (longitud inicial mordazas máquina)	15[mm]
<b>ΔLR</b> (longitud de ruptura)	7,097733498[mm]
Δ <sub>1</sub>	ε <sub>1</sub> = 0,317088[mm]
	σ <sub>1</sub> = 3,38909836[MPa]
Δ <sub>2</sub>	ε <sub>2</sub> = 0,34762026[mm]
	σ <sub>2</sub> = 3,61818167[MPa]

Desarrollo:

$$\sigma_{máx} = \left( \frac{F}{A_0} \right) = \frac{161,57[N]}{42,64[mm^2]} = 3,7891[MPa]$$

$$\varepsilon_{Rup} = \frac{\Delta LR}{L_0} * 100 = \frac{7,0977[nm]}{15[mm]} * 100 = 47,26\%$$

$$\text{Módulo Elástico} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{0,22908331[MPa]}{0,030532264[mm]} = 7,5029[MPa]$$

**BIOPOLÍMERO DE TOMATE D3**

Almidón de papa + pulpa desecho de tomate + Glicerina + Vinagre

Datos:

<b>F<sub>máx</sub></b> : fuerza a la tensión máxima soportada	75,67276001[N]
<b>A<sub>0</sub></b> (área inicial)	16,9[mm <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>0</sub></b> (longitud inicial mordazas máquina)	11,5[mm]
<b>ΔLR</b> (longitud de ruptura)	12,75498676[mm]
Δ <sub>1</sub>	ε <sub>1</sub> = 0,113345379[mm]
	σ <sub>1</sub> = 1,28927863[MPa]
Δ <sub>2</sub>	ε <sub>2</sub> = 0,18438107[mm]
	σ <sub>2</sub> = 2,04161356[MPa]

Desarrollo:

$$\sigma_{máx} = \left(\frac{F}{A_0}\right) = \frac{75,67276001[N]}{16,9[mm^2]} = 4,4776[MPa]$$

$$\varepsilon_{Rup} = \frac{\Delta LR}{L_0} * 100 = \frac{12,75498676[mm]}{11,5[mm]} * 100 = 110,91\%$$

$$Módulo Elástico = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{0,75233493[MPa]}{0,071035696[mm]} = 10,5909[MPa]$$

**BIOPOLÍMERO DE MANZANA F1, MODIFICACIÓN PULPA DESECHO**

Almidón de maíz + pulpa desecho de manzana (60gr desecho + 40 ml agua) + Glicerina + Vinagre

Datos:

<b>F<sub>máx</sub></b> : fuerza a la tensión máxima soportada	35,5724144[N]
<b>A<sub>0</sub></b> (área inicial)	12,22[mm <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>0</sub></b> (longitud inicial mordazas máquina)	11,5[mm]
<b>ΔLR</b> (longitud de ruptura)	8,624423981[mm]
Δ <sub>1</sub>	ε <sub>1</sub> = 0,0879002654[mm]
	σ <sub>1</sub> = 1,28083627[MPa]
Δ <sub>2</sub>	ε <sub>2</sub> = 0,0423765338[mm]
	σ <sub>2</sub> = 0,86784956[MPa]

Desarrollo:

$$\sigma_{máx} = \left( \frac{F}{A_0} \right) = \frac{35,5724144[N]}{12,22[mm^2]} = 2,9109[MPa]$$

$$\varepsilon_{Rup} = \frac{\Delta LR}{L_0} * 100 = \frac{8,624423981[mm]}{11,5[mm]} * 100 = 74,99\%$$

$$Módulo Elástico = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{0,41298671[MPa]}{0,045523731[mm]} = 9,0718[MPa]$$

**BIOPOLÍMERO DE TOMASA F2, MODIFICACIÓN PULPA DESECHO**

Almidón de papa + pulpa desecho de tomate (100gr de Tomasa: (desecho tomate deshidratado))  
+ Glicerina + Vinagre

Datos:

<b>F<sub>máx</sub></b> : fuerza a la tensión máxima soportada	5,764701366[N]
<b>A<sub>0</sub></b> (área inicial)	61,36[mm <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>0</sub></b> (longitud inicial mordazas máquina)	15[mm]
<b>ΔLR</b> (longitud de ruptura)	3,57862187[mm]
Δ <sub>1</sub>	ε <sub>1</sub> = 0,0201573769[mm]
	σ <sub>1</sub> = 0,05345415[MPa]
Δ <sub>2</sub>	ε <sub>2</sub> = 0,0301231941[mm]
	σ <sub>2</sub> = 0,0653773[MPa]

Desarrollo:

$$\sigma_{máx} = \left(\frac{F}{A_0}\right) = \frac{5,764701366[N]}{61,36[mm^2]} = 0,0939[MPa]$$

$$\varepsilon_{Rup} = \frac{\Delta LR}{L_0} * 100 = \frac{3,57862187[mm]}{15[mm]} * 100 = 23,857\%$$

$$Módulo Elástico = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{0,01192315[MPa]}{0,009965817[mm]} = 1,1964[MPa]$$

Anexos

## BIOPOLÍMERO DE MANZANA G2, MODIFICACIÓN % GLICERINA

Almidón de maíz + pulpa desecho de manzana + Glicerina (14ml) + Vinagre

Datos:

<b>F<sub>máx</sub></b> : fuerza a la tensión máxima soportada	28,60450554[N]
<b>A<sub>0</sub></b> (área inicial)	14,3[mm <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>0</sub></b> (longitud inicial mordazas máquina)	15[mm]
<b>ΔLR</b> (longitud de ruptura)	8,10602283[nm]
Δ <sub>1</sub>	ε <sub>1</sub> = 0,031066829[mm]
	σ <sub>1</sub> = 0,48746949[MPa]
Δ <sub>2</sub>	ε <sub>2</sub> = 0,0415048202[mm]
	σ <sub>2</sub> = 0,56809812[MPa]

Desarrollo

$$\sigma_{máx} = \left(\frac{F}{A_0}\right) = \frac{28,60450554[N]}{14,3[mm^2]} = 2,0003[MPa]$$

$$\varepsilon_{Rup} = \frac{\Delta LR}{L_0} * 100 = \frac{8,10602283[nm]}{15[mm]} * 100 = 54,0401522 = 54,04\%$$

$$Módulo Elástico = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{0,08062863[MPa]}{0,010437791[mm]} = 7,7245[MPa]$$

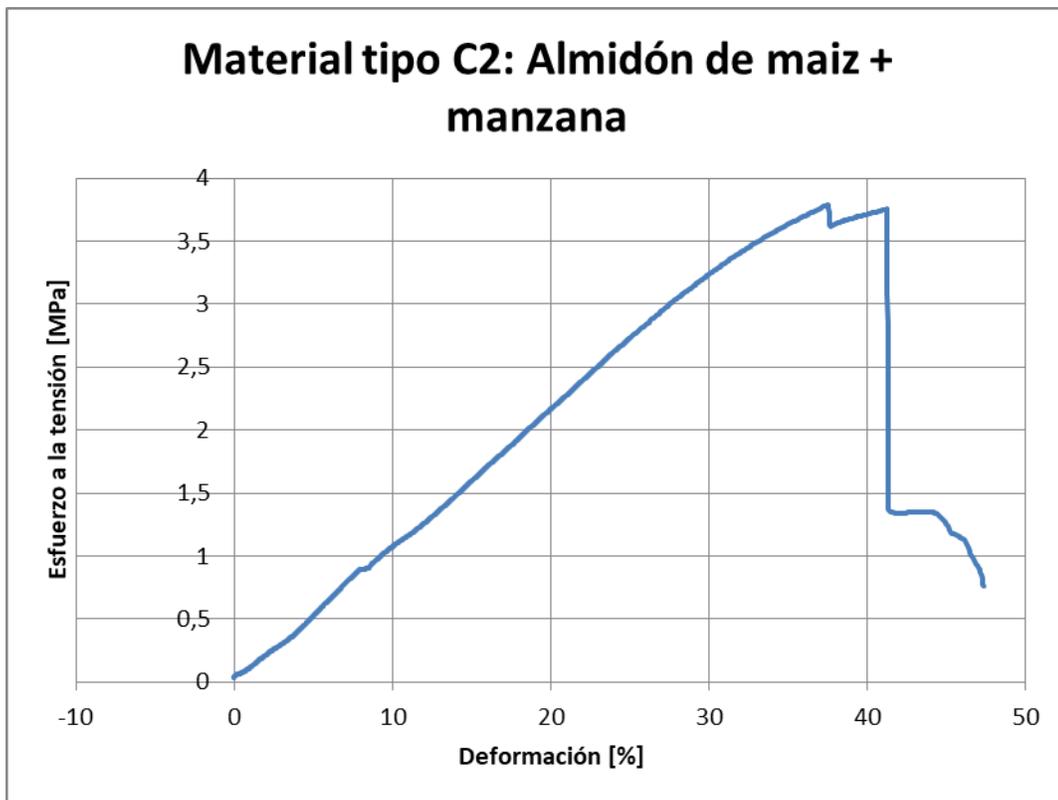
## ANEXO 4: GRÁFICOS ESFUERZO V/S DEFORMACIÓN

### GRÁFICOS ETAPA 1

**Material: Almidón de maíz (30gr)+ desecho de manzana (100gr) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)**

Área de la probeta: 42,64 mm<sup>2</sup>

Curva de esfuerzo v/s deformación:



Del gráfico se obtiene:

Tensión máxima soportada: 161,57 N

Alargamiento de ruptura ( $\Delta_{LR}$ ): 7,097 mm

Esfuerzo máximo de tensión: 3,789 MPa

Deformación de ruptura: 47,26 %

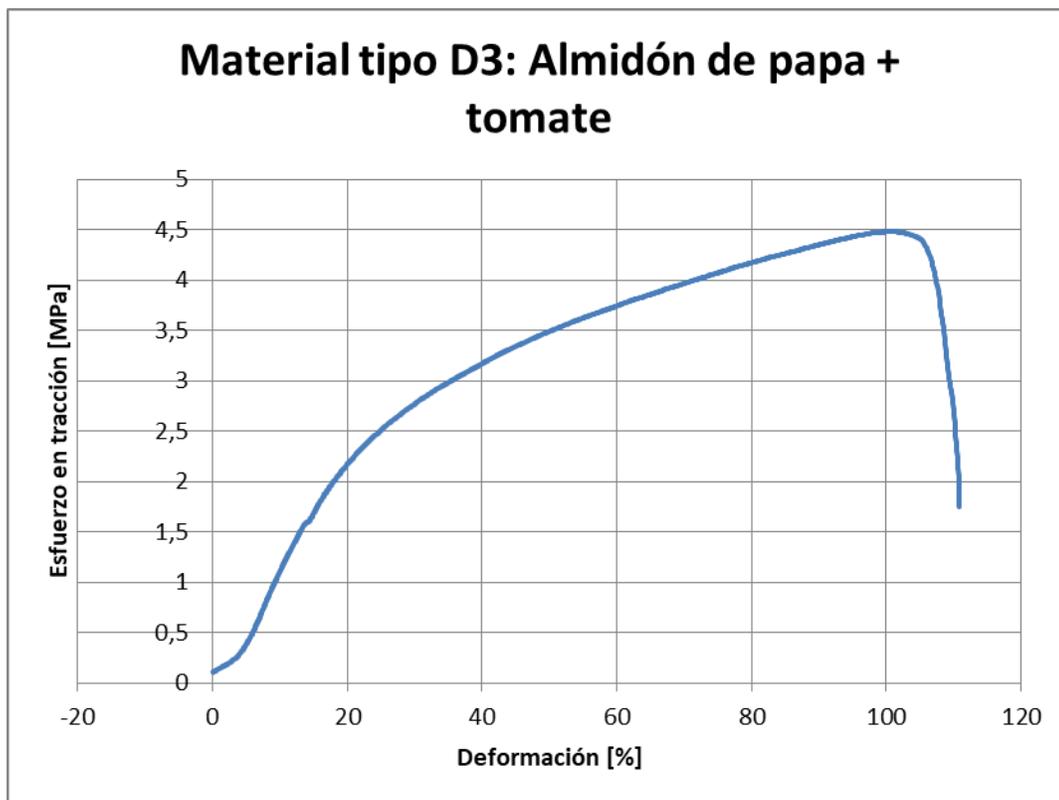
Módulo de elasticidad: 7,502 MPa

Anexos

**Material: Almidón de papa (30gr) + desecho de tomate (100gr) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)**

Área de la probeta: 16,9 mm<sup>2</sup>

Curva de esfuerzo v/s deformación:



Del gráfico se obtiene:

Tensión máxima soportada: 75,672 N

Alargamiento de ruptura ( $\Delta_{LR}$ ): 12,754 mm

Esfuerzo máximo de tensión: 4,477 MPa

Deformación de ruptura: 110,91 %

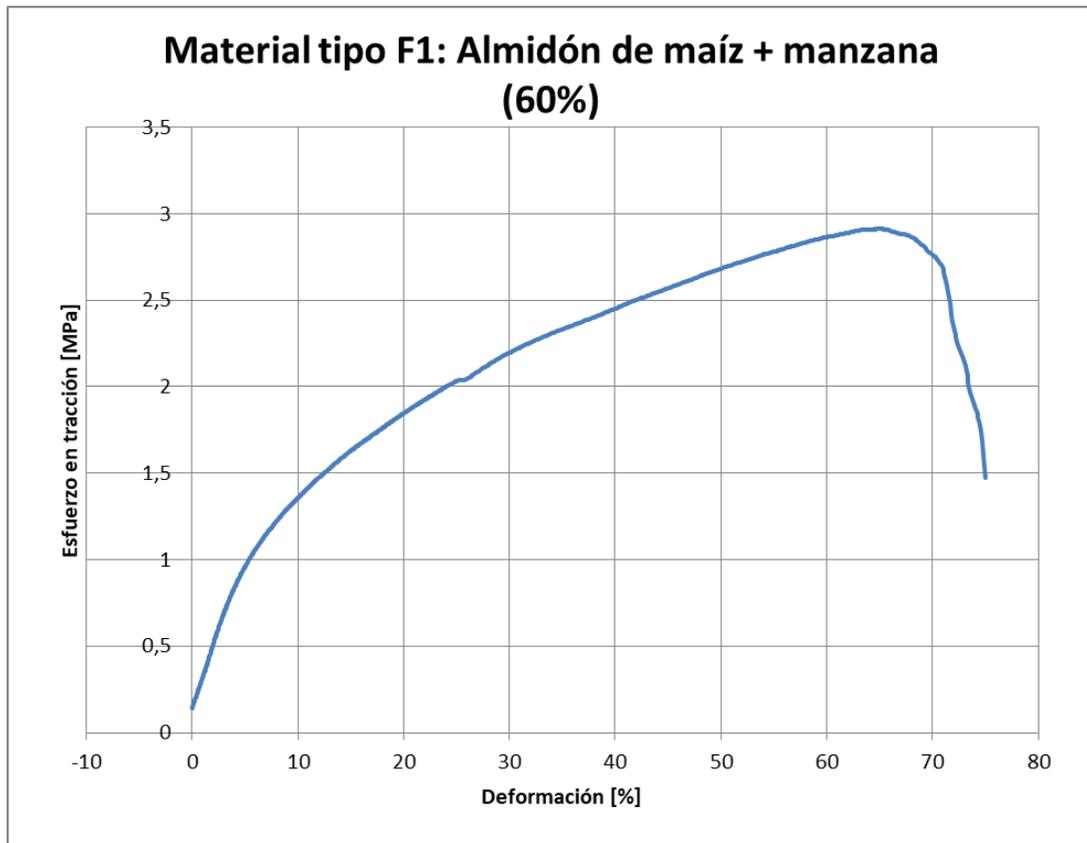
Módulo de elasticidad: 10,591 MPa

## 4.1.2 GRÁFICOS ETAPA 2

**Material: Almidón de maíz (30gr) + desecho de manzana (60gr + 40 ml de agua) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)**

Área de la probeta: 12,22 mm<sup>2</sup>

Curva de esfuerzo v/s deformación:



Del gráfico se obtiene:

Tensión máxima soportada: 35,572 N

Alargamiento de ruptura ( $\Delta_{LR}$ ): 8,624 mm

Esfuerzo máximo de tensión: 2,911 MPa

Deformación de ruptura: 74,99 %

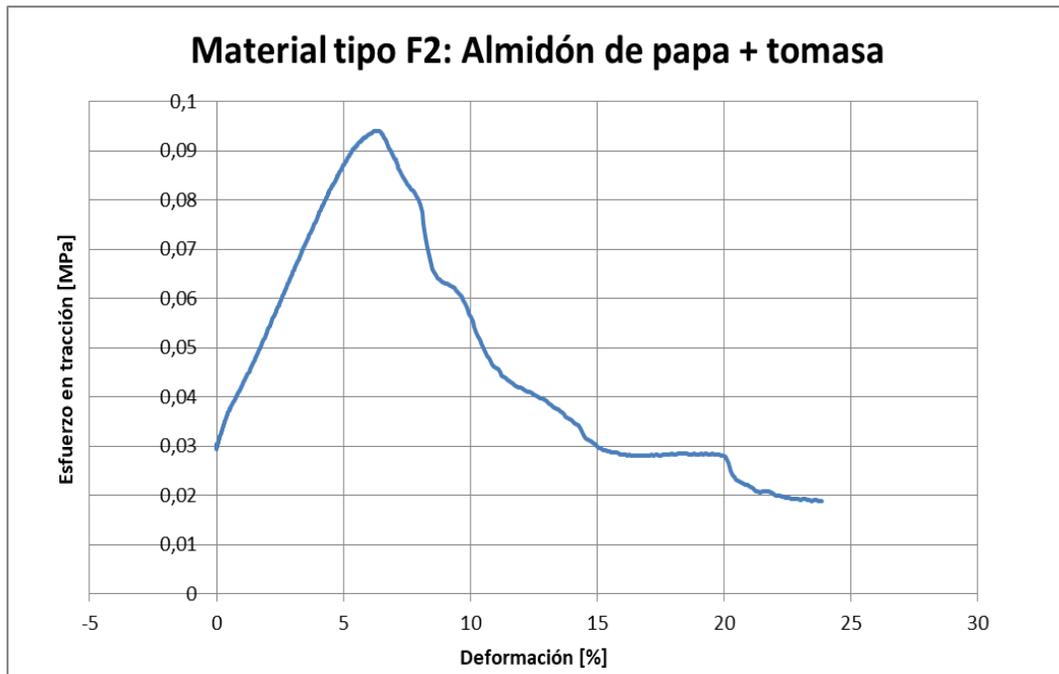
Módulo de elasticidad: 9,071 MPa

Anexos

**Material: Almidón de maíz (30gr) + desecho de tomate (100gr desecho deshidratado) + glicerina (7ml) + vinagre (7ml)**

Área de la probeta: 61,36 mm<sup>2</sup>

Curva de esfuerzo v/s deformación:



Del gráfico se obtiene:

Tensión máxima soportada: 5,764 N

Alargamiento de ruptura ( $\Delta_{LR}$ ): 3,57 mm

Esfuerzo máximo de tensión: 0,093 MPa

Deformación de ruptura: 23,857 %

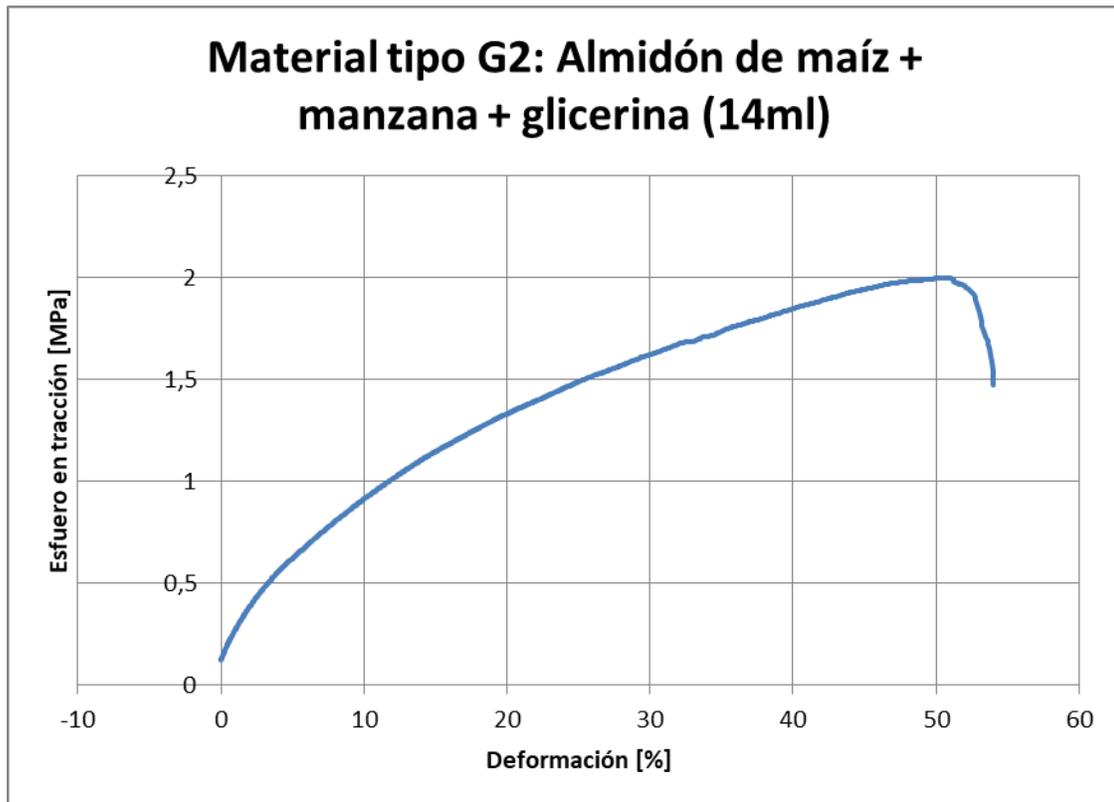
Módulo de elasticidad: 1,196 MPa

Anexos

**Material: Almidón de maíz (30gr) + desecho de manzana (100 gr) + glicerina (14ml) + vinagre (7ml)**

Área de la probeta: 14,3 mm<sup>2</sup>

Curva de esfuerzo v/s deformación:



Del gráfico se obtiene:

Tensión máxima soportada: 28,604 N

Alargamiento de ruptura ( $\Delta_{LR}$ ): 8,106 mm

Esfuerzo máximo de tensión: 2,003 MPa

Deformación de ruptura: 54,04 %

Módulo de elasticidad: 7,724 MPa

## ANEXO 5: TABLAS DE CONTROL DE PESO A BIOPOLÍMEROS EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES

### Control de masa a biopolímeros en zona rocosa y seca

Biopolímeros en zona rocosa y seca			
Fechas	Almidón de maíz + manzana (gr)	Almidón de papa + tomate (gr)	Almidón de maíz + manzana (60%) (gr)
20-07-2020	1,4	0,74	0,56
22-07-2020	1,19	0,62	0,45
24-07-2020	1,05	0,51	0,36
26-07-2020	1,11	0,55	0,39
28-07-2020	1,05	0,52	0,35
30-07-2020	1,05	0,52	0,35
01-08-2020	1,12	0,56	0,39
03-08-2020	1,12	0,56	0,39
05-08-2020	1,01	0,5	0,36
07-08-2020	0,93	0,44	0,33
09-08-2020	0,92	0,44	0,33
11-08-2020	0,91	0,43	0,32

Anexos

**Control de masa a biopolímeros inmersos en agua.**

	Biopolímeros inmersos en agua		
Fechas	Almidón de maíz + manzana (gr)	Almidón de papa + tomate (gr)	Almidón de maíz + manzana (60%) (gr)
20-07-2020	1,4	0,74	0,56
22-07-2020	1,44	0,78	0,55
24-07-2020	1,48	0,82	0,54
26-07-2020	1,48	0,81	0,53
28-07-2020	1,44	0,81	0,53
30-07-2020	1,32	0,71	0,46
01-08-2020	1,32	0,71	0,47
03-08-2020	1,34	0,73	0,47
05-08-2020	1,34	0,76	0,5
07-08-2020	1,35	0,76	0,52
09-08-2020	1,34	0,76	0,5
11-08-2020	1,34	0,76	0,49

**Control de masa a biopolímeros a la intemperie.**

	Biopolímeros a la intemperie			
Fechas	Almidón de maíz + manzana (gr)	Almidón de papa + tomate (gr)	Almidón de maíz + manzana (60%) (gr)	Factor externo a considerar
20-07-2020	1,4	0,74	0,56	-
22-07-2020	1,12	0,52	0,31	lluvia
24-07-2020	0,85	0,23	0,15	-
26-07-2020	1,05	0,22	0,16	lluvia
28-07-2020	0,71	0,11	0,07	-
30-07-2020	0,58	0,05	0,01	insectos
01-08-2020	0,62	0,06	0,02	lluvia
03-08-2020	0,61	0,04	0	-
05-08-2020	0,5	0,03	0	-
07-08-2020	0,41	0,03	0	-
09-08-2020	0,37	0	0	insectos
11-08-2020	0,32	0	0	-