

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MATERIALES



TESIS

“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DEFORMACIÓN DE
BIOPLÁSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE SOLANUM
TUBEROSUM A DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE”



PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MATERIALES

AUTORES: Br. GRANDA SÁNCHEZ, Jorge Jeyson.

Br. RAMOS CONTRERAS, Yenny Merly.

ASESOR: Mg. CHAVEZ NOVOA, Danny Mesías.

TRUJILLO – PERÚ

Agosto - 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Tesis a mi abuelo, Teófilo Valderrama Chávez, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento. Esta tesis es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, ya que siempre has sido una persona honesta, entregada a tu trabajo, y un gran líder.

A la memoria de mi abuelita Sumilda Bacilio Solorzano, fallecida a sus 99 años, poco antes de que pueda ver culminada mi tesis. Gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, por tus consejos y por el amor que me has dado.

A mi madre, Elenita, por estar siempre presente en todos los momentos buenos y malos que nos traza la vida, por tu constante apoyo, por tu infinito amor. Gracias por la paciencia que has tenido para encaminarme, por tus cuidados, por los regaños que me merecía y que no entendía. Gracias Mamá por estar pendiente durante toda mi vida.



Y por último dedico esta tesis de manera especial mi hermana Karin, pues ella fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mi las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar. Muchas gracias por ser mi constante motivación al llenarme de orgullo con cada uno de tus logros.

Jorge Jeyson.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Tesis en primer lugar a Dios todo Poderoso, sin ti nada sería posible señor mío. Esta tesis va dedicada a mis padres Consuelo Contreras y Luis Ramos que son unos padres que se han esforzado demasiado hasta más de lo que han podido para ayudarme en salir adelante tanto en mi vida personal como profesional. Son unas grandes personas que con su buen ejemplo me han hecho convertir en la persona que soy hoy en día.

A mi Tía Martha Contreras que gracias a sus consejos y su gran apoyo para mi vida profesional y personal.

A mis hermanos Cristina y Erick que, son muy buenas personas que han sabido salir adelante a pesar de muchas pruebas que Les apuesto la vida y son unos buenos padres y me han dado unos sobrinos maravillosos Gerald y Valentina. Y aunque fastidiosos, chistosos saben que los quiero mucho y sé que cuento con ellos y también ellos cuentan conmigo.



A mi sobrino Gerald Pérez Ramos que desde el día que nació se convirtió en lo más importante en mi vida que con sus risas, ocurrencias, sus bailes, su generosidad, su carisma. Que con una sonrisa suya y sus abrazos y besitos me alegran hasta en mis días más difíciles. Estoy muy orgullosa de él, que hasta el día de hoy es un niño que ya aprendió a leer y escribir. Y sé que se convertirá en un buen hombre en todos los aspectos.

A mi sobrina Valentina Ramos que la quiero mucho. A mis papitos Luz, Juana y Martin, que son unas personas muy generosas y bondadosas.

Finalmente dedico esta tesis a mi pareja Jeyson Granda por ser una persona que me apoya en todo incondicionalmente y está conmigo en la buenas y en las peores.

Yenny Merly.

AGRADECIMIENTO

Se debe reconocer el mérito propio por alcanzar los objetivos propuestos, aunque sin olvidar que se parte de cero, y que solo se puede llegar más lejos porque otros antes han acumulado el conocimiento necesario para hacer progresar el nuestro.

Nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de Trujillo, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales.

A los profesores e Ingenieros, que con su paciencia y dedicación nos guiaron por el mejor de los caminos.

De igual manera queremos brindar nuestro más amplio agradecimiento para el Mg. Danny Chávez Novoa, asesor de esta tesis, por su valiosa orientación y apoyo para la conclusión del mismo.

Asimismo, queremos expresar mi agradecimiento a todos quienes estuvieron vinculados de alguna manera a este proyecto; a el técnico de la Facultad de Física, por facilitarnos el uso de algunos instrumentos.

Al Dr. Raul Sicche de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por proporcionarnos su texturometro para completar la investigación.

Gracias a todos aquellos que nos ayudaron a la realización y culminación de la Tesis.



Los Autores.

ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	iii
Índice	iv
Lista de figuras	vi
Lista de tablas	ix
Lista de simbologías	xi
Resumen	xii
Abstract	Xiii
I. CAPÍTULO : INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática.	2
1.2 Antecedentes Empíricos.	4
1.3 Antecedentes Teóricos.	11
1.3.1 Solanum Tuberosum o Papa	11
1.3.2 Almidón	15
1.3.3 Bioplásticos	22
1.3.4 El almidón, como materia prima para la elaboración de un bioplástico.	27
1.3.5 Caracterización de las películas bioplásticos a base de Solanum Tuberosum	29
1.3.6 Ensayo mecánico a la película de bioplástico a base de Solanum Tuberosum.	32
1.4 Problema de investigación.	35
1.5 Hipótesis	35
1.6 Objetivos	35
1.7 Importancia de la Investigación	36
II. CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS.	37
2.1.Materiales de estudio	38
2.2.Métodos y técnicas	39
2.3.Métodos	42
2.3.1. Procedimiento Experimental	42
III. CAPÍTULO: RESULTADOS	49
3.1. Elaboración del film bioplástico.	50



3.2. Análisis térmico de los bioplásticos.	51
3.3. Análisis de bioplásticos mediante estereoscopia.	54
3.4. Ensayo de resistencia a la tracción y elongación de los bioplásticos .	56
IV. CAPÍTULO: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	58
4.1. Elaboración de bioplástico.	59
4.2. Análisis térmico DSC – TG de los bioplásticos.	59
4.3. Análisis por estereoscopia del bioplástico.	61
4.4. Resistencia a la tracción y elongación.	62
V. CAPÍTULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	65
5.1. Conclusiones.	66
5.2. Recomendaciones.	67
VI. CAPÍTULO: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	68
6.1. Referencias bibliográficas	69
ANEXOS	75
Anexo I: Análisis de varianza	76
Anexo II: Análisis térmico de los bioplásticos	83
Anexo III: Medición de las características de los bioplásticos	91
Anexo IV: Resultado del ensayo de tracción y elongación	93
Anexo V: Con respecto a la fuerza (MPa) y % de deformación	97
Anexo VI: Fotos	103



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. N° 1 : Tubérculo Solanum Tuberosum.	11
Fig. N° 2 : Producción anual de Papa, 1997 – 2016	13
Fig. N° 3 : Micrografía del granulo de almidón de papa.	16
Fig. N° 4 : Diagrama de flujo de la obtención del almidón de papa.	16
Fig. N° 5 : Estructura de la amilosa.	17
Fig. N° 6 : Estructura de la amilopectina.	18
Fig. N° 7 : Microfotografías de gránulos de almidón de distintos orígenes.	19
Fig. N° 8 : Clasificación de los Bioplásticos.	23
Fig. N° 9 : Estructura molecular del glicerol.	28
Fig. N° 10: Termograma típico de los ensayos de TGA.	30
Fig. N° 11: Curva de Esfuerzo vs Deformación para bioplástico de papa con distintos porcentajes de glicerina	33
Fig. N° 12: Diagrama Tensión vs Deformación.	34
Fig. N° 13: Diagrama esquemático del problema experimental.	35
Fig. N° 14: Dimensiones de probeta para prueba mecánica en tracción.	38
Fig. N° 15: Diagrama del procedimiento experimental.	42
Fig. N° 16: Bioplástico de Solanum Tuberosum con 3% de glicerina	50
Fig. N° 17: Películas de bioplástico de Solanum Tuberosum con distintos porcentajes de 3, 5, 8, 10 y 12 % Glicerina.	50
Fig. N° 18: Gráficos del ensayo de DSC para el bioplástico con distintos porcentajes de glicerina de a) 3%, b) 5 %, c) 8 %, d) 10 % y e) 12 %.	53
Fig. N° 19: Curva TG para la muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.	54
Fig. N° 20: Imágenes mediante estereoscopía de las muestras de bioplásticos a 400X de aumento.	55
Fig. N° 21: Curvas reales esfuerzo vs deformación, en detalle, del ensayo de tracción para los bioplástico obtenidos a distintos % de Glicerina.	57
Fig. N° 22: Gráfico de DSC de almidón de papa con 3,5,8,10 y 12 % de glicerina.	61
Fig. N° 23: Gráfico de Esfuerzo Máximo (MPa) vs % de Glicerina.	63
Fig. N° 24: Gráfico de Esfuerzo Máximos (MPa) vs. % Deformación (ε) Máximo	64
Fig. N° 25: Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.	83

Fig. N° 26:	Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.	83
Fig. N° 27:	Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.	84
Fig. N° 28:	Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 5 % de glicerina.	84
Fig. N° 29:	Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 5 % de glicerina.	85
Fig. N° 30:	Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 5 % de glicerina.	85
Fig. N° 31:	Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 8 % de glicerina.	86
Fig. N° 32:	Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 8 % de glicerina.	86
Fig. N° 33:	Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 8 % de glicerina.	87
Fig. N° 34:	Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 10 % de glicerina.	87
Fig. N° 35:	Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 10 % de glicerina.	88
Fig. N° 36:	Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 10 % de glicerina.	88
Fig. N° 37:	Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 12 % de glicerina.	89
Fig. N° 38:	Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 12 % de glicerina.	89
Fig. N° 39:	Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 12 % de glicerina.	90
Fig. N° 40:	Gráfico de Fuerza (kg) vs. % Distancia recorrida (mm) arrojada por el Texturómetro para los porcentajes de 3,5, 8,10 y 12 % de glicerina.	102
Fig. N° 41:	a) Balanza Analítica, b) Agua destilada.	103
Fig. N° 42:	c) Hcl al 0.1 Molar, d) NaOH al 0.1 Molar.	103
Fig. N° 43:	Lavando la papa.	104

Fig. N° 44:	Pelando y Lavado de la papa	104
Fig. N° 45:	Cortando en trozos pequeños la papa y colocando en el vaso de la licuadora.	105
Fig. N° 46:	Agregando Agua destilada a los trozos de papa.	105
Fig. N° 47:	Licuada de la papa en la licuadora BOSCH	106
Fig. N° 48:	Decantado por 1 hora de la papa.	106
Fig. N° 49:	Eliminando lo sobrenadante del decantado de la papa.	107
Fig. N° 50:	Secado del almidón de papa sobre la tela fieltro.	107
Fig. N° 51:	Almidón seco por 24 horas a temperatura ambiente y su posterior retirado de la tela fieltro.	108
Fig. N° 52:	Secando el almidón en la estufa eléctrica a 45 °C por 24 horas.	108
Fig. N° 53:	Almidón de papa listo para ser triturado.	109
Fig. N° 54:	Triturando el almidón.	109
Fig. N° 55:	Tamizado del almidón de papa en la malla # 100.	110
Fig. N° 56:	Almidón de papa.	110
Fig. N° 57:	Pesando 2.5 gr de almidón de papa en la balanza analítica.	111
Fig. N° 58:	Pesando la glicerina en la balanza electrónica.	111
Fig. N° 59:	Agregando el HCl a 0.1 Molar a la mezcla de almidón de papa + agua destilada.	112
Fig. N° 60:	Agregando la glicerina a la mezcla.	112
Fig. N° 61:	Agregando el NaOH a 0.1 molar para neutralizar la mezcla.	113
Fig. N° 62:	Bioplástico a base de almidón vía casting.	113
Fig. N° 63:	Bioplástico a base de almidón de papa listo para ser colocado en la estufa eléctrica.	114
Fig. N° 64:	Desmoldando la película de bioplástico a base de almidón de papa.	114
Fig. N° 65:	Película de bioplástico a base de almidón de papa.	115
Fig. N° 66:	Película de bioplástico de papa en el estereoscopio.	115
Fig. N° 67:	Ensayo de DSC y TG a las muestra de bioplástico a base de almidón de papa en el equipo analizador térmico SETARAM	116
Fig. N° 68:	Midiendo el espesor a las probetas de bioplástico.	116
Fig. N° 69:	Ensayo de resistencia a la tracción y % deformación en el Texturómetro.	117
Fig. N° 70:	Probetas de bioplástico colocadas entre las mordazas del Texturómetro.	117
Fig. N° 71:	Probeta de bioplástico ensaya en el Texturómetro hasta su rotura.	118
Fig. N° 72:	Probetas de bioplástico fragmentadas luego del ensayo de tracción.	118

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1 : Probetas de bioplástico fragmentadas luego del ensayo de tracción.	13
Tabla N° 2 : Porcentaje de amilosa y amilopectina de almidones de diferente origen.	15
Tabla N° 3 : DSC característico para algunos almidones.	21
Tabla N° 4 : Aplicaciones actuales para bioplásticos.	26
Tabla N° 5 : Matriz de Diseño experimental.	40
Tabla N° 6 : Parámetros de trabajo determinados en ensayos preliminares.	44
Tabla N° 7 : Porcentaje en peso de glicerina	45
Tabla N° 8 : Resumen con los materiales y cantidades usados para el bioplástico	45
Tabla N° 9 : Espesor de película de bioplásticos de muestras obtenidas.	51
Tabla N° 10: Composiciones de las mezclas que han sido analizadas en DSC/TGA.	52
Tabla N° 11: Condiciones del ensayo de DSC y TGA	52
Tabla N° 12: Resultado del Ensayo de Tracción y Elongación.	56
Tabla N° 13: Medidas de las características de las probetas a base de almidón de Solanum tuberosum para cada porcentaje de glicerol.	91
Tabla N° 14: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 3% de Glicerina.	93
Tabla N° 15: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 5% de Glicerina.	94
Tabla N° 16: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 8% de Glicerina.	95
Tabla N° 17: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 10 % de Glicerina	96
Tabla N° 18: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 12 % de glicerina.	96
Tabla N° 19: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 3% de Glicerina.	97
Tabla N° 20: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 5% de glicerina.	98
Tabla N° 21: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 8% de glicerina.	99



Tabla N° 22: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 10 100
% de glicerina.

Tabla N° 23: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 12 101
% de glicerina.



LISTA DE SIMBOLOGÍAS

PEAB	: Polietileno de baja densidad
MPa	: Mega Pascal
g/cm ³	: Gramos por centímetro cubico
ISO	: Organización Internacional de Estandarización
DSC	: Calorimetría diferencial de barrido
TG	: Análisis Termogravimétrico
DEA	: Análisis dieléctrico
DMA	: Análisis mecánico dinámico
WVP	: Permeabilidad al vapor de agua
TPS	: Termoplástico
FAO	: Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y Alimentación
ASTM	: Sociedad Americana para pruebas y materiales
PLA	: Ácido poliláctico
PGA	: Poli ácidos glicoles
PCL	: Policaprolactonas
PHA	: Polihidroxicanoatos
PHB	: Polihidroxibutarato
PUR	: Espuma de poliuretano
Tg	: Temperatura de transición vítrea



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se trabajó con almidón obtenido del tubérculo papa que es uno de los polímeros más prometedores para la elaboración de películas biodegradables que puedan reemplazar a los materiales de empaque tradicionales debido a que es económico, de alta disponibilidad y se obtiene de fuentes naturales. Sin embargo, las películas elaboradas con sólo almidón, comparadas con las películas sintéticas tradicionales, tienen varias limitaciones tales como: propiedades mecánicas pobres, alta permeabilidad al vapor de agua, tendencia a la retrogradación, alta rigidez, son quebradizas, entre otros.

Debido a esto, es que este trabajo de investigación vió necesario mezclar el almidón con diversas sustancias como HCl y NaOH que puedan contrarrestar o evitar dichas limitaciones, con el fin de crear bioplástico teniendo como plastificante a la glicerina para ello se evaluó la Resistencia Mecánica y Deformación en Tracción en función del porcentaje de glicerol para plásticos biodegradables a base de almidón del Tubérculo Solanum Tuberosum. Los porcentajes de glicerina usados en el bioplástico fueron de 3, 5, 8, 10 y 12 %. El bioplástico fue expuesto a una temperatura de 45° C en una estufa eléctrica por 24 horas para lograr su secado total. Para el estudio se elaboraron 25 probetas rectangulares de bioplástico con dimensiones de 100 x 15 mm tal como lo indica la norma ASTM D882.

Se realizó el Ensayo de Tracción y % de Deformación en un Texturómetro de la marca STABLE MICRO SISTEM, modelo: TA.HD PLUS TEXXTURE ANALYZER. Así como también Estereoscopia y Análisis Térmicos de DSC y TG. Los resultados finales muestran que la resistencia y deformación en tracción de bioplástico a base de almidón de papa, obtenidos a diferentes niveles de plastificante tienen una máxima de 2.57 Mpa para un 3% de glicerina y la mínima de 0.17 Mpa para el 12 % de glicerina. En cuanto a la deformación se alcanzó un 44.76% de deformación al 3% de glicerina y a 13.37 % a un 12% de glicerina. Se concluye que para un nivel de significancia del 5 % se obtuvo $F_0 = 189.58$ obtenido experimentalmente para los datos de resistencia máxima a la tracción, es mayor que el $F_{0.05,4,20} = 2.87$, obtenido de manera tabular rechazando la hipótesis nula entonces se confirma que el porcentaje de glicerina influye de manera negativa en la resistencia máxima a la tracción, así como también a la deformación de los bioplásticos a base de almidón de papa.

Palabras claves: Bioplástico, solanum tuberosum, almidón de papa, degradación, plastificante, glicerina.

ABSTRACT

In the present research work, select with starch obtained from the potato tube that is one of the most promising polymers for the production of biodegradable films that can replace traditional packaging materials because it is economical, high availability and are obtained from sources natural. However, starch-only films, compared to traditional synthetic films, have several limitations such as: poor mechanical properties, high water vapor permeability, retrogradation tendency, high rigidity, are brittle, among others.

Due to this, it is necessary to mix the starch with various substances such as HCl and NaOH, which can counteract or avoid various limitations, in order to create bioplastic with glycerin as a plasticizer to evaluate the Mechanical Resistance and Deformation Traction based on the percentage of glycerol for starch-based biodegradable plastics from *Solanum Tuberosum* Tubers. The percentages of glycerin used in the bioplastic were 3, 5, 8, 10 and 12%. The bioplastic was exposed to a temperature of 45°C in an electric stove for 24 hours to achieve its total drying. For the study, 25 rectangular bioplastic specimens with dimensions of 100 x 15 mm were prepared as indicated by ASTM D882.

The Tensile and % Deformation Test was performed on a STABLE MICRO SISTEM brand Texturometer, model: TA.HD PLUS TEXTURE ANALYZER. As well as Stereoscopy and Thermal Analysis of DSC and TG. The final results show that the tensile strength and deformation of bioplastic based on potato starch, obtained at different levels of plasticizer have a maximum of 2.57 MPa for 3% glycerin and the minimum of 0.17 MPa for 12% glycerin. As for the deformation, a 44.76% deformation at 3% glycerin and at 13.37% at 12% glycerin was reached. It is concluded that for a level of significance of 5% $F_0 = 189.58$ obtained experimentally for the maximum tensile strength data was obtained, it is greater than the $F_{0.05,4,20} = 2.87$, obtained in a tabular way rejecting the null hypothesis It is then confirmed that the percentage of glycerin has a negative influence on the maximum tensile strength, as well as the deformation of bioplastics based on potato starch.

Keywords: Bioplastic, *solanum tuberosum*, potato starch, degradation, plasticizer, glycerin.



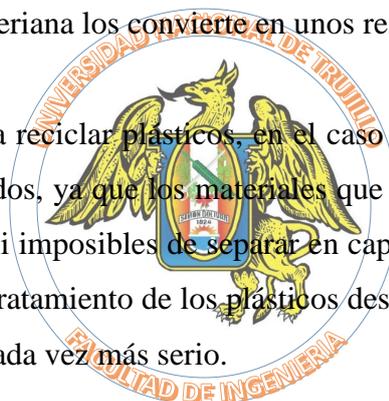
CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA:

En la actualidad, los plásticos se utilizan ampliamente en ingeniería, debido a su gran flexibilidad en el diseño de las piezas, fácil moldeo, durabilidad y otros. Desde hace muchas décadas, la industria de los plásticos ha dedicado grandes esfuerzos en propiciar la estabilidad de las formulaciones poliméricas con la finalidad de aumentar cada día el rango de aplicaciones y su tiempo de vida útil.

Los plásticos generalmente son sintéticos, fabricados por polimerización de compuestos derivados del petróleo, que es una fuente no renovable de energía, y no son biodegradables. El plástico es la tercera aplicación del petróleo más usada en el mundo, y se estima que el consumo mundial anual es de más de 200 millones de toneladas, con un incremento anual de aproximadamente del 5%. Propiedades como la alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en unos residuos que no son biodegradables.

Si bien hay métodos para reciclar plásticos, en el caso de los envases de alimentos estos procesos son muy limitados, ya que los materiales que los componen están formados por estructuras difíciles o casi imposibles de separar en capas o partículas menores. Debido a estos inconvenientes, el tratamiento de los plásticos descartados como basura se ha vuelto un problema ambiental cada vez más serio.



Actualmente estos residuos no solamente se encuentran en la tierra, sino que un porcentaje de plásticos mal gestionados acaban en el mar, estimándose que se vierten anualmente una media de 8 millones de toneladas de plásticos desde 192 países con costa. Estos residuos plásticos que llegan al mar son responsables de la muerte de especies marinas y aves que las ingieren, y supone un problema grave para el medio ambiente, como es el caso del garbage patch (islas de basura), pero no son solo perjudiciales para los animales marinos sino también para las personas debido a la entrada a la cadena alimentaria humana de pequeñas porciones de plástico, los denominados microplásticos, a través del consumo de peces y mariscos que los han incorporado a su organismo en el mar, desconociéndose aún los efectos negativos que pueden tener para la salud.

Es por las razones expuestas anteriormente y el aumento del precio del petróleo que es un recurso no renovable que en la actualidad se demandan nuevas alternativas de tratamiento

y tecnología, entre las cuales surge una tendencia en sustituir tales polímeros por bioplásticos. Los bioplásticos son materiales biodegradables que provienen de recursos renovables y en algunos casos presentan propiedades similares a los plásticos sintéticos con la capacidad de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática.

Existen muchos productos provenientes de fuentes agrícolas y hasta su misma sustancia residual de los productos agroindustriales que se destruyen sin ser utilizados, o se utilizan de una forma poco económica, que pueden ser empleados como materia prima para la elaboración de nuevos productos biodegradables.

En el Perú existen varios productos agrícolas que aparte de ser utilizados con fines alimenticios, también son fuente de materia prima, estos permiten obtener fácilmente el almidón obtenido de tubérculos en su mayoría, que resultaría la base polimérica para la obtención de los bioplásticos con interesantes propiedades y características de biodegradabilidad para reemplazar a los plásticos tradicionales en determinadas aplicaciones como las de la industria del empaque y del embalaje.

En este trabajo de investigación se desea obtener un bioplástico a base de almidón de *solanum tuberosum* con diferentes porcentajes de plastificante a fin de obtener un material apropiado con adecuada resistencia mecánica y considerable deformación, para esto se evaluará la resistencia mecánica de tracción y su correspondiente deformación de los bioplásticos. La obtención de este material y su puesta a disposición de la sociedad tiene contribución ambiental pues sustituirá en parte de los polímeros tradicionales empleados en ciertos sectores de la industria del empaque/embalaje; de esta manera permitiría reducir los grandes volúmenes de desechos que generan estos plásticos convencionales, además contribuiría a darle valor agregado a determinados productos agrícolas donde es aprovechable el almidón.



1.2. ANTECEDENTE EMPÍRICOS

- **Rodríguez, Camargo & Cruz, 2011**, en la investigación titulada: “*Evaluación de las propiedades mecánicas de un bioplástico a partir de Polietileno de baja densidad y almidón de papa*”. Evaluaron las propiedades mecánicas de los polímeros inyectados, por medio de microscopía electrónica de barrido - SEM, microscopía óptica y ensayos de tensión.

En esta investigación se utilizó como materia prima: polietileno de baja densidad marca Dow referencia 4012 y almidón tipo industrial de papa referencia ALMI 4, procesado por Almicor Ltda.; aditivos polietilenglicol y agua destilada marca Ceprosa, distribuida por Inproquim Ltda. Se trabajaron porcentajes de mezcla de 5% al 30% (PEAB: 100,95,85,80 y 70; almidón 0,5,15,20 y 30 %) para analizar el comportamiento del almidón con relación al polímero sintético. Se obtuvo como resultados que el comportamiento de los tratamientos con relación a un esfuerzo aplicado teniendo el tratamiento A (polietileno de baja densidad 100% y almidón de papa 0%) es de 10,1 MPa siendo el valor más alto y a medida que va aumentando el porcentaje de almidón el esfuerzo es menor como el registrado con el tratamiento E (polietileno de baja densidad 70% y almidón 30%) es de 4,93 MPa, la disminución del esfuerzo del tratamiento A al tratamiento E es de 49,4%. Tanto el esfuerzo a la ruptura y deformación a la ruptura son propiedades mecánicas que se van disminuyendo con el incremento del porcentaje de almidón y la disminución del polietileno de baja densidad.

Con los ensayos de microscopía óptica se reveló que el factor de concentración que a mayor contenido de almidón hace que el material pierda sus propiedades mecánicas debido a que en el proceso, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño.

- **García Quiñónez, 2015**, en la investigación titulada: “*Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*”. Emplearon almidón de maíz, agua destilada, ácido acético 3% v/v y glicerina como material plastificante. La resistencia que determina la norma ASTM D 638 y las películas correspondientes a los prototipos

Nº4 y Nº5 presentaron una resistencia a la tensión de 0.31 MPa y 0.25 MPa respectivamente.

Concluyó que la velocidad de secado y cantidades de almidón y glicerina son factores muy importantes ya que afectan la elasticidad y estabilidad de la película a través del tiempo; además reporta que bajo las condiciones de temperatura de 27.1°C y humedad relativa en 82% se pudo comprobar de forma cualitativa que el plástico se degrada en tres meses según los registros de la prueba de biodegradabilidad.

Además, que, en ambos casos de la resistencia a la tensión, los valores no cumplen la norma; lo cual conlleva a concluir que las propiedades físicas del bioplástico producido en el laboratorio son deficientes en comparación con los plásticos comerciales, pero, sin embargo, puede usarse como material de empaque si este no se expone a altas temperaturas.

- **Meneses, Corrales & Valencia, 2007**, en la investigación titulada: “*Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*”. Elaboraron un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca con base en la implementación de la metodología Taguchi como herramienta de diseño de experimentos presenta la matriz de diseño de experimentos trabajada correspondiente al arreglo ortogonal L18(2 x 37), la cual indica que deben realizarse 18 muestras que se elaboran utilizando un mezclador mecánico de aspas y de agitación circular con temperaturas entre 45°C y 60°C para promover la gelatinización y la transición vítrea de la mezcla.

El proceso de obtención de las mezclas se realiza con almidón dulce denominado Almiyuca. Para esta investigación se trabajaron dos tipos de almiyuca, uno de ellos proveniente de una fabricación artesanal de color café (Almiyuca 1). El otro almidón, fabricado por Industrias del Maíz S. A., de un color blanco más agradable desde el punto de vista estético (Almiyuca 2).

El almidón de yuca se mezcló, variando las condiciones, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes. El proceso experimental arrojó como resultado seis muestras poliméricas con características adecuadas, que se sometieron a la medición de sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y de biodegradabilidad. Concluyó que la temperatura a la

que debe trabajarse la mezcla de los reactivos oscila entre 45°C y 60°C, rango dentro del cual se realiza una adecuada gelatinización del almidón. El material que presentó las mejores propiedades es el que proviene de Almiyuca 2 (lámina 7 fabricada a partir de almidón de yuca), con una resistencia a la tracción de 3,25 MPa, módulo de elasticidad de 1,28 MPa, dureza de 59,9 Shore A y densidad de 1,05 g/cm³. El comportamiento frente al agua se evidencia en un incremento en la masa del 185,6 % y en el área superficial del 20 %.

Concluyeron que es viable realizar un producto que no requiera una resistencia a la tracción muy alta y no debe estar expuesto al agua ni a unas condiciones de humedad elevadas; por lo tanto, la potencial fabricación de recubrimientos plásticos (como cápsulas) o la fabricación de bolsas plásticas o empaques plásticos son los usos que podrían dársele al polímero.

- **Meza Ramos, 2016**, en la investigación titulada: *“Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio”*. Utilizaron residuos de papa variedad “Yungay” y evaluaron su biodegradabilidad tomando como referencia la Norma ISO 17556: 2012. Para elaborar el bioplástico, se obtuvo una relación de 26.21 % de amilosa y 73.79 % de amilopectina y un 89.8% de similitud del espectro evaluado con respecto al espectro del almidón soluble.

Los resultados demostraron que el comportamiento mecánico del bioplástico se vio más afectado por la variación de ácido acético que por la variación de glicerol. Dicho material alcanza un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99% en el ensayo de tracción; además los ensayos de espectrofotometría mostraron la formación de enlaces característicos de los bioplásticos. Para evaluar la biodegradabilidad aeróbica se tomó como referencia la Norma ISO 17556:2012 que indica que el bioplástico elaborado presenta un alto nivel de biodegradación alcanzando un valor de 64.21% en 92 días.

- **Charro Espinoza, 2015**, en la investigación titulada: *“Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata”*. Elaboraron películas utilizando almidón

de papa, el cual fue mezclado con varios plastificantes: glicerina, alcohol polivinílico y bórax en diferentes concentraciones. A partir de las mejores películas analizadas visualmente se determinó, que el plastificante adecuado era la glicerina, a la cual se añadió melamina como reticulante para disminuir su capacidad higroscópica, y se establecieron las mejores condiciones de trabajo.

Evaluaron sus propiedades físicas y mecánicas. Los resultados demostraron que, para cada una de las propiedades mecánicas, físicas y de biodegradabilidad de las películas variaron de acuerdo a las concentraciones de almidón y plastificante.

En el caso de la resistencia a la rotura, se demostró que la película con mayor resistencia fue la GME, con una composición óptima de glicerina 2,4% y melamina 8,5 % con una resistencia a la rotura de 45,17 kg/cm². En el caso de la elongación a la ruptura la concentración óptima es de glicerina 2,4% y melamina 10,2% es decir la muestra GMA que presentó una elongación a la ruptura de 67,75 kg/cm². Se puede concluir que la glicerina es la variable más influyente en los cambios de las propiedades físicas.

Con respecto a los ensayos de biodegradabilidad estos indican que la película se degrada con el pasar del tiempo. Estos ensayos se realizaron en dos condiciones anaerobia, la mejor muestra frente a este tipo de ensayo fue la muestra GMF (4,5% de glicerina y 1,8 % de melamina) con el 15,09% de pérdida de peso y aerobia con una pérdida de peso 11,12%. Y se demuestra que las películas se degradan mayormente en condiciones aerobias, por el contacto con el aire y los microorganismos aerobios que ayudan a degradar la película con liberación de CO₂. Mientras que en condiciones anaerobias se libera metano como parte de la degradación.

- **Notch, Riku, 2007**, en la investigación titulada: *“Estudio de la síntesis y caracterización de películas de almidón de patata plastificadas con polioles”*. Los resultados de la caracterización mostraron que el contenido de amilosa de los almidones de patata varió entre 11.9 y 20.1%.

Las temperaturas iniciales de gelatinización de almidones de patata en agua en exceso variaron independientemente del contenido de amilosa de 58 a 61°C determinado usando calorimetría de barrido diferencial (DSC). La cristalinidad de almidones nativos

seleccionados con bajo, medio y alto contenido de amilosa se determinó mediante difracción de rayos X. Se encontró que la cristalinidad relativa era alrededor de 10-13% en almidones de patata nativos seleccionados que contenían 13-17% de agua. La temperatura de transición vítrea, el comportamiento de fusión de cristalización y las relajaciones de polioles, eritritol, sorbitol y xilitol, se determinaron usando (DSC), análisis dieléctrico (DEA) y análisis mecánico dinámico (DMA).

Las temperaturas de transición vítrea de xilitol y sorbitol disminuyeron como resultado de la plastificación con agua. La absorción de agua y la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas se vieron afectadas por el tipo y el contenido del plastificante. La permeabilidad al vapor de agua de las películas aumentó al aumentar el contenido de plastificante. En general, el módulo de Young y la resistencia a la tracción disminuyeron al aumentar el plastificante y el contenido de agua con un aumento concurrente en el alargamiento a la rotura de las películas.

- **Alarcón & Arroyo ,2016**, en la investigación titulada: “*Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa*”. Se modificó el almidón con ácido acético al 5% obteniéndose un biopolímero con un 61,76% de amilosa y 38,28% de amilopectina.

Las pruebas de elongación y tracción mostraron que el almidón modificado presentó una mejor propiedad mecánica, presentando la mejor muestra una resistencia a la tracción de 8,47 N y con un 33% de elongación frente a muestras sin aditivos que obtuvieron una resistencia a la tracción de 6,07 N y 14,38% de elongación.

Concluyeron que la obtención de un almidón modificado con buenas propiedades mecánicas, de acuerdo a pruebas realizadas, se logra por la adición de ácido acético al 5% v/v debido a que mejora la relación de amilopectina y amilosa, la adición de quitosano y goma xantan le brindan una mejor textura al biopolímero, además de mejorar la propiedad mecánica en un 4%, esto fue corroborado con las pruebas de elongación y tracción.

- **Meré Marcos,2009**, en la investigación titulada: *“Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente”*. Utilizaron almidón de papa que fue suministrado por la empresa Panreac Química S.A.U. y como plastificante la glicerina Q.P., sorbitol, urea, polietilenglicol.

El resultado fue que la mejor mezcla obtenida se dio a partir de almidón, agua destilada, glicerina y urea como plastificantes y se comprobó que el material posee una mayor flexibilidad y transparencia que el resto. La temperatura crítica de gelatinización para el almidón de patata Panreac se estimó que se encuentra en el intervalo entre 100°C y 120°C. La determinación de la calidad de los TPS se ha llevado a cabo mediante el Método Anderson, los índices de absorción (WAI) y de solubilidad (WSI) de las muestras fabricadas, siendo la mejor muestra la TPS5 (almidón 70%, glicerina 20% y 10% agua destilada), que presentó 3,42 y 4,37 respectivamente.

De este modo se puede decir que ésta es la composición y las condiciones de procesado óptimas dentro del primer grupo en base a los resultados obtenidos de los índices WAI y WSI.



- **Batuani Larrea,2015**, en la investigación titulada: *“Estudio de la obtención de plásticos biodegradables a partir del almidón de la papa por adición de agentes plastificantes”*. Utilizaron almidón de papa, agua destilada, glicerina, urea y ácido acético.

Se pudo evidenciar que proporciones elevadas de glicerina alteran negativamente al producto deseado, concluyendo así que la muestra 12 es la ideal debido a sus propiedades de maniobrabilidad, estabilidad en su masa, plasticidad y factibilidad de procesamiento, la cual tenía las siguientes proporciones: 30% almidón, 50% agua, 10% glicerina, 5% urea y ácido acético al 5%. El ácido se añadió luego de realizada la mezcla, cerca de la temperatura de gelatinización del producto deseado. Por el contrario, las demás mezclas mostraron condiciones con ciertas deficiencias, lo que las hacía débiles y/o con baja plasticidad, por lo que la composición de esta muestra es la apropiada para preparaciones de plásticos biodegradables.

Obtuvieron como resultado que el producto desarrollado presentó una resistencia a la tracción de 0,0015 MPa con una elongación del 25% de su longitud inicial. En cuanto al contenido de agua la muestra presentó una humedad de 8,29%, la solubilidad de las 67 muestras fue menores al 10% en los solventes utilizados, siendo para el agua destilada, agua potable y cloroformo 7,48%; 3,78% y 0,050% respectivamente, la muestra fue disuelta totalmente en agua hervida. Al someter la muestra a almacenamiento en tierra, esta presentó signos de haber sufrido una biodegradación.

- **Moreno, Humaran, Báez & Leon, 2017**, en la investigación titulada: *“Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente”*. Utilizaron como materia prima la papa de rezago como fuente de almidón, además de nopal y sábila regionales, como fuente de mucílago.

La extracción del almidón se realizó a nivel laboratorio mediante un proceso manual y la relación utilizada almidón - agua fue desde 1:4 hasta 1:10 ya que siendo menor a esto las muestras tienden a fracturarse, el tiempo fue de 20 a 35 minutos y la temperatura desde los 70 hasta los 100 ° C. Los niveles utilizados de mucílago de nopal, mucílago de sábila y glicerina fueron desde 2 a 3 gramos, (equivalentes a 7.5 y 7.7 %).

De acuerdo a los análisis de los bioplásticos de olor, apariencia, facilidad de moldeo y resistencia al tacto, la muestra cuatro tiene una concentración de almidón de 3 gramos, agua 22 gramos, mucílago de nopal 2 gramos, mucílago de sábila 2 gramos y glicerina 2 gramos, es el bioplástico con mayor aceptabilidad. A partir de las propiedades físico-químicas analizadas mediante los métodos oficiales de la AOAC se determinó el grado de pureza de los materiales y se utilizó glicerina como agente plastificante.

Concluyeron que las características que obtiene el bioplástico dependen en gran medida de las concentraciones de almidón de papa, mucílago de nopal y mucílago de sábila que se utilizan para su elaboración.

1.3. ANTECEDENTES TEÓRICOS

1.3.1 Solanum Tuberosum o Papa

1.3.1.1. Taxonomía

La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta herbácea anual que alcanza una altura hasta de un metro y produce tubérculos. Pertenece a la familia de las solanáceas, del género *Solanum*, formado por al menos otras mil especies, como el tomate y la berenjena.

El género *Solanum*, especie *tuberosum* se divide en dos subespecies diferentes: la andígena, cultivada principalmente en los Andes, y *tuberosum*, la subespecie que hoy se cultiva en todo el mundo y se piensa que descende de una pequeña introducción en Europa de papas indígenas (FAO, 2008).

El género *Solanum*, al cual pertenece la papa, consiste de aproximadamente 2800 especies, de las cuales 216 presentan o forman tubérculo, siendo 209 silvestres y 8 cultivadas (Hawkes, 1990).

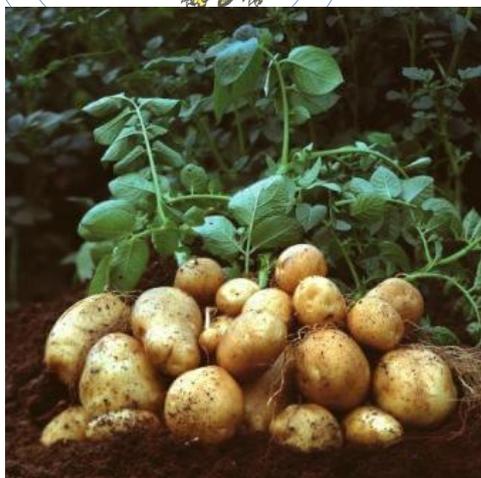


Figura N°1: Tubérculo *Solanum Tuberosum*

Fuente: (<http://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-de-papa/papa-2018>)

1.3.1.2. Origen

El centro de máxima variabilidad de especies de papa se sitúa en el corazón de los Andes, en las zonas altas de Perú y Bolivia y por esta razón se considera a la citada región como su centro de origen. Su domesticación comenzó hace unos 8000 años aproximadamente, sin embargo, su distribución y explotación a nivel mundial como cultivo ocurrió muchos siglos después, debido a la conquista de los países americanos, en los siglos XV y XVI, hecha por los europeos, quienes llevaron la papa a Europa y a los países asiáticos (*Borba, N. 2008*).

Los primeros vestigios de papa poseen más de 8,000 años de antigüedad y fueron encontrados durante unas excavaciones realizadas en las cercanías del pueblo de Chilca, al sur de Lima (*Engel, F. A., 1970*).

1.3.1.3. El Tubérculo

El tubérculo de papa pertenece al reino Plantae, filo Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Solanales, familia Solanaceae, género Solanum, especie Solanum tuberosum (*MINAGRI – 2011*).

Al crecer, las hojas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos, también llamados estolones. Estos tallos sufren la consecuencia de un engrosamiento y así se producen unos cuantos o hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. El número de tubérculos que llegan a madurar depende de la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo. El tubérculo puede tener formas y tamaños distintos, y por lo general pesa hasta 300 g.

1.3.1.4. Composición química

El valor alimenticio de la papa es generalmente subestimado, a pesar de haberse demostrado que es fuente de proteína de alto valor biológico, que tiene una relación



favorable de caloría proteínica y caloría total, y es fuente importante de vitaminas y minerales, (Woolfe,1987).

La composición química general de la papa se muestra a continuación.

TABLA N°1: Composición química del tubérculo de papa

COMPONENTES	CONTENIDO (%)
Agua	63 - 86.9
Materia Seca	13.1 - 37
Almidón	12.6 - 20
Fibra	0.17 - 3.48
Lípidos	0.02 - 0.96
Proteínas	0.6 – 4.6

Fuente: Bradshaw & Ramsay, (2009).

La composición química de la parte sólida remanente puede variar ampliamente dependiendo de factores como: variedad, madurez, diferencias ambientales, aplicación de químicos y condiciones ambientales.

1.3.1.5. Producción de papa en el Perú

De acuerdo con las estadísticas de la FAO, la producción de Perú en el 2014 ocupó el lugar 14, dentro del conjunto de 150 países que siembran este cultivo; siendo el segundo país con mayor producción en América, después de Estados Unidos; y, el primero, en América del Sur.

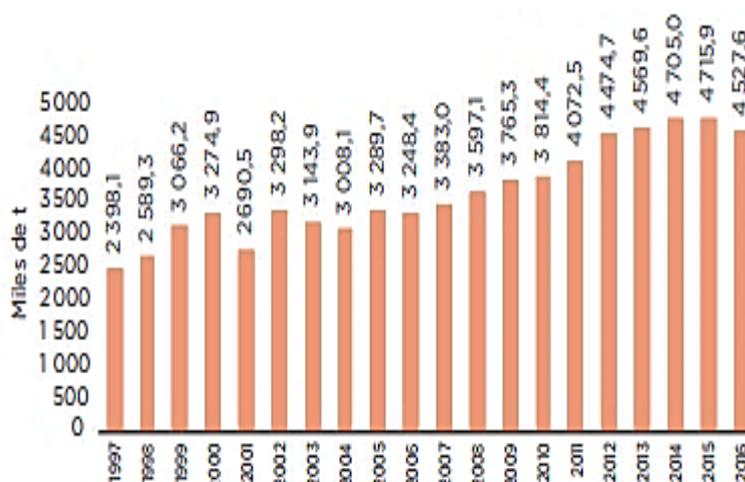


Figura N°2: Producción anual de Papa, 1997 – 2016.

Fuente: MINAGRI, (2016).

1.3.1.6. Variedades

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y más de 3,000 variedades, de las 5,000 que existen en Latinoamérica.

También posee 91 de las 200 especies silvestres del continente, y que generalmente no son comestibles por su sabor amargo y alta toxicidad; sin embargo, son las que han dado origen a las variedades domesticadas que hoy se consumen en el planeta (*MINAGRI, 2011*). A continuación, se describe la variedad de interés para la presente investigación.

• Variedad Yungay

Es una papa con una textura muy similar a la papa amarilla, pero con una degradación mucho menor, puede mantenerse almacenada por mucho tiempo sin que se descomponga además de ser muy versátil en la cocina. (*camaradelima, 2018*).



1.3.1.7. Usos Alimentarios

La papa es uno de los alimentos más consumidos en el mundo junto con el trigo, el maíz y el arroz por lo que cumple un rol importante en la seguridad alimentaria de la población (*Congreso ALAP, 2010*).

1.3.1.8. Usos no alimentarios

La cáscara de la papa y otros desechos “sin valor” de la industria de la papa tiene un abundante contenido de almidón. El almidón de la papa es ampliamente utilizado por las industrias farmacéuticas, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno, y por las compañías que perforan pozos petroleros, para lavar pozos. El almidón de papa es un sustituto 100 por ciento biodegradable del poliestireno y se utiliza, por ejemplo, para hacer platos y cubiertos desechables (*Bastos, 2009*).

1.3.2 Almidón

El almidón es un polímero natural, un gran hidrato de carbono (carbohidrato) que las plantas sintetizan durante la fotosíntesis y sirve como reserva de energía (*Castillo A.,2011*). Son importantes fuentes de almidón el maíz, trigo, papa, yuca, ñame y otros. El almidón no es realmente un polisacárido, sino la mezcla de dos, la amilosa y la amilopectina (*Barrios Mindiola ,2007*). El contenido en amilosa varía según la fuente de origen y suele estar comprendido entre el 17 y el 35% en peso (*Martínez Gallegos, 2005*).

La Tabla N°2 recoge la composición de diversos almidones, dichos valores pueden variar ligeramente debido a las condiciones en las que se desarrollen y las variedades de las distintas fuentes.

TABLA N°2: Porcentaje de amilosa y amilopectina de almidones de diferente origen.



Fuente	Amilosa %	Amilopectina %
Trigo	26	74
Cebada	22	78
Maíz	28	72
Amilomaíz	51 - 65	49 – 35
Maíz céreo	1	99
Avena	27	73
Arroz	18	82
Arroz céreo	1	99
Mijo	25	75
Mijo céreo	1	99
Patata	23	77

Fuente: Martínez Gallegos, (2005).

(Lindeboom, Chang y Tyler, 2004). sostienen que, de acuerdo a su tamaño, los gránulos de almidón se clasifican como gránulos grandes ($>25 \mu\text{m}$), gránulos medianos ($\geq 10 \leq 25 \mu\text{m}$), gránulos pequeños ($\geq 5 \leq 10 \mu\text{m}$) y gránulos muy pequeños ($<5 \mu\text{m}$) siendo mayores los gránulos del almidón de papa ($<110 \mu\text{m}$).



Figura N° 3: Micrografía del granulo de almidón de papa.

Fuente: Badui, (2001)

1.3.2.1 Obtención del almidón.

Para la extracción del almidón en la Figura N° 4 se representa el diagrama de flujo de la obtención de almidón de papa, en el que se detallan los procesos de recepción de las papas, lavado para eliminar tierra e impurezas, pelado, se tritura para liberar los gránulos de almidón que se dejan decantar y el concentrado para obtener el polvo seco.

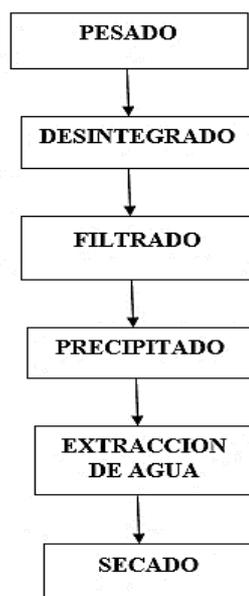


Figura N° 4: Diagrama de flujo de la obtención del almidón de papa.

Fuente: FAO, (2011).

1.3.2.2 Estructura del Almidón Natural

Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina.

- **Amilosa:** Representa cerca del 20% de la mayoría de los almidones. Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glicosídicos $\alpha - 1,4$ en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice. Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones $\alpha - D - (1,6)$, aproximadamente entre 0,3 a 0,5% del total de los enlaces. Estas generalmente, no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente como un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes (Ruiz G. 2006).

También se caracteriza por sus propiedades hidrofílicas que le confieren una buena afinidad con el agua. Esta propiedad se debe a la presencia de grupos hidroxilos en las moléculas de glucosa que pueden establecer enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua (Meré, J. 2009). La Figura N° 5 muestra la estructura de la amilosa.

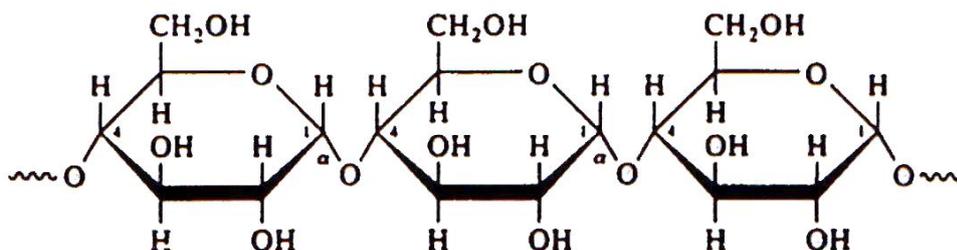


Figura N° 5: Estructura de la amilosa.

Fuente: Meré, J. (2009)

- **Amilopectina:** Representa el 80% del almidón. La amilopectina se compone por enlaces glucosídicos $\alpha - 1,6$ y $\alpha - 1,4$. Estos enlaces glucosídicos $\alpha - 1,6$ se producen con otras moléculas de glucosa, lo cual provoca que tenga una estructura más ramificada que la amilosa, como se muestra en la Figura N° 6. La molécula tiene un peso medio molecular promedio de 10^7 a 10^8 g/mol.

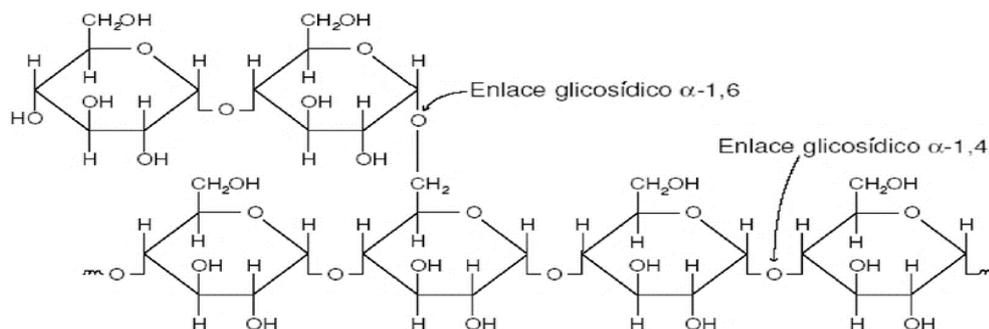


Figura N° 6: Estructura de la amilopectina

Fuente: Meré, J. (2009).

El almidón está organizado en partículas discretas conocidos como gránulos (ver Figura N°6), debido a que la amilopectina es el componente más abundante en tubérculos como la papa, es el responsable de que el gránulo presente una estructura organizada en forma de anillos y cierta propiedad semicristalina formando así dos regiones, una cristalina y otra amorfa (*Tovar, 2008*).

La amilopectina del almidón de papa es la única que contiene grupos ésteres de fosfato, situados cerca de las ramificaciones, los cuales tienen una carga negativa que es la responsable del hinchamiento rápido de los gránulos en presencia de agua caliente, de su viscosidad alta, buena claridad y velocidad de retrogradación baja. A medida que la planta produce moléculas de almidón, éste se deposita en capas sucesivas en forma radial alrededor de un hilo central para formar un grano compacto que se logra mediante la combinación de moléculas de amilosa, amilopectina, mediante enlaces de hidrógeno, obteniéndose, al parecer una distribución homogénea (*Melian, 2010*).

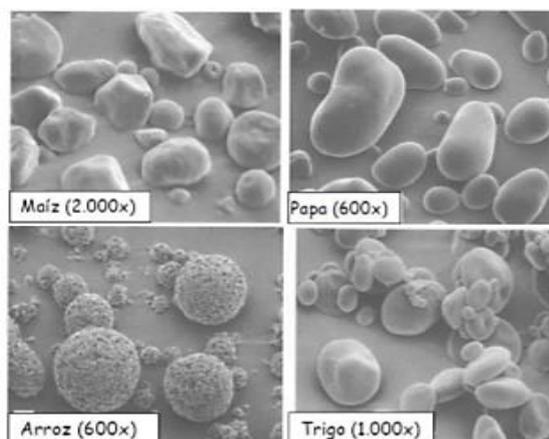


Figura N° 7: Microfotografías de gránulos de almidón de distintos orígenes.

Fuente: Melian, (2010).

1.3.2.3 Tratamientos hidrotérmicos del almidón

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

a. Gelatinización

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

La birrefringencia es una propiedad óptica del almidón en el que los gránulos presentan dos índices de refracción por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la conocida “cruz de malta” (Canónico, 2003).

Las etapas en el proceso de gelatinización son las siguientes:

- La temperatura de gelatinización se alcanza dependiendo del tipo de almidón, normalmente varía entre 60 a 71°C para su inicio.
- La energía cinética de las moléculas de agua caliente rompe los puentes de hidrogeno entre las moléculas de almidón.
- A medida que se forman puentes de hidrógeno, el agua es capaz de penetrar más profundamente en el gránulo de almidón y tiene lugar el hinchamiento. Debe estar presente suficiente agua para entrar y agrandar el gránulo de almidón.
- Se produce la difusión de algunas cadenas de amilosa a medida que salen de los gránulos de almidón.

- Se pierde la birrefringencia y la estructura cristalina ordenada del gránulo de almidón nativo. Es claramente más traslucido porque el índice de refracción del gránulo expandido esta próximo al del agua.
- El hinchamiento del gránulo aumenta a medida que aumenta la temperatura. Los gránulos más grandes son los primeros en hincharse. Los gránulos de almidón hinchados ocupan más espacio y la mezcla espesa a media que los gránulos se agrandan liberando amilosa y posiblemente amilopectina.
- La pasta de almidón continúa volviéndose más espesa, más viscosa y resistente al flujo a medida que gelatiniza.

- Un exceso de agitación hace menos espesa la mezcla de almidón cocido a medida que los gránulos de almidón hinchados implosionan y se rompen y pierden algo del líquido que retienen en el interior los gránulos agrandados (*Vaclavik, 2002*).

Las temperaturas de gelatinización para algunos almidones se observan en la Tabla N° 3, donde T_0 representa la temperatura a la cual se inicia la gelatinización, T_p es la temperatura de pico endotérmico y T_c es la temperatura a la cual finaliza la

gelatinización. Se deben controlar varios factores durante la gelatinización para producir un almidón gelatinizado de alta calidad.

Algunos métodos comúnmente utilizados para monitorear la gelatinización son: la pérdida de birrefringencia, cambios en la viscosidad, solubilidad e hinchamiento de los gránulos, difracción de rayos X, espectroscopia por resonancia magnética nuclear y análisis térmico por DSC entre otros.

Tabla N°3: DSC característico para algunos almidones

Almidón	Temperatura endotérmica, °C			- ΔHC, cal/g de almidón
	To	Tp	Tc	
Arroz	70	76.3	82	3.1
Trigo	50	68	86	4.7
Papa	57	72	87	6.6
Yuca	68	78	92	5.5
Maíz comercial	60	67 – 78	89	3.3
Maíz de alta amilosa	71	82 – 105	114	4.2
Maíz de 100 % de amilopeptina	64	71 -88	97	4.0

Fuente: Fritz H.G, (1994).

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

b. Retrogradación

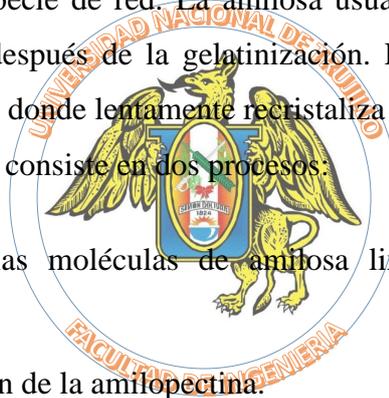
El término retrogradación, ha sido utilizado para describir los cambios que ocurren cuando las moléculas de almidón gelatinizado empiezan a reorganizarse, formando una o más estructuras ordenadas, es decir pasan de un estado inicial amorfo a un estado final más cristalino, se puede ver como el fenómeno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

La retrogradación también está definida como el proceso colectivo de pérdida de solubilidad del almidón disuelto, ya que al enfriar y dejar en reposo las pastas de almidón, estas se hacen progresivamente menos solubles (*Torres, 2007*).

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

La retrogradación consiste en dos procesos:

- a. Gelación de las moléculas de amilosa lixiviadas del gránulo durante la gelatinización.
- b. Recristalización de la amilopectina.



1.3.3 Bioplásticos

1.3.3.1 Definición

Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente (*CIT, 2009*).

Según La Asociación Europea de Bioplástico (European Bioplastics), un material plástico se define como bioplástico si es de base biológica, si es biodegradable, o si tiene ambas propiedades (*Estrada, 2012*).

- **Biodegradabilidad:** La ASTM D – 5488-944 lo define como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos, y puede medirse por ensayos estándares en un periodo específico de tiempo reflejado en condiciones disponibles de almacenamiento (*Ruiz, 2006*).

1.3.3.2 Clasificación de los bioplásticos

a. Según su proceso de fabricación:

Se pueden clasificar de la siguiente manera (*Castillo & Meré, 2009*):

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

b. Según su procedencia

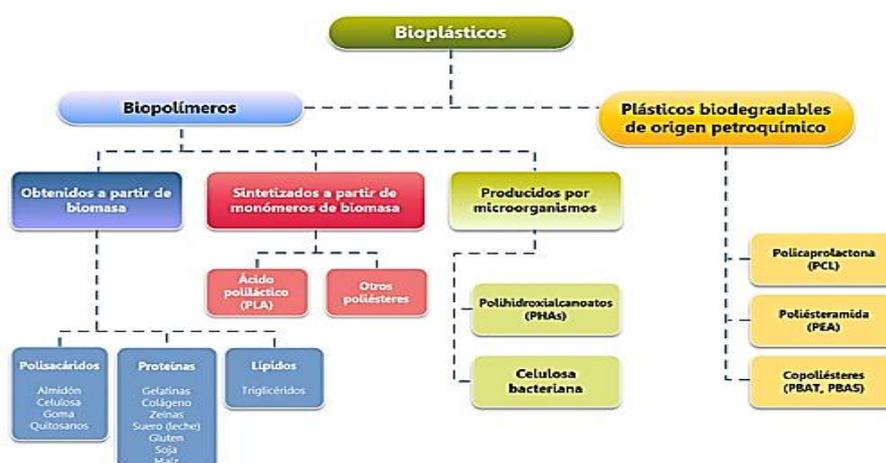


Figura N° 8: Clasificación de los Bioplásticos.

Fuente: *REMAR, (2011)*.

1.3.3.3 Ventajas y desventajas de los bioplásticos frente a los plásticos convencionales.

a. Ventajas:

- Reducen la huella de carbono.
- No consumen materias primas no renovables.
- Reducen los residuos no biodegradables, que contaminan el medio ambiente.
- No contienen aditivos perjudiciales para la salud como ftalatos o bisfenol A.
- El bioplástico es muy higiénico y se puede utilizar para envases de alimentos o de bebidas.
- No modifican el sabor y el aroma de los alimentos contenidos.
- Reduce los costos de la gestión de los residuos, especialmente si se utilizan a gran escala por la industria alimentaria.
- Reciclables: se puede utilizar en la producción de fertilizantes agrícolas.
- Menores emisiones de gases tóxicos en caso de incineración.
- Se pueden utilizar las mismas líneas de producción para la fabricación de envases de bioplásticos, que las utilizadas actualmente con plásticos convencionales.



b. Desventajas:

- **Obtención de materias primas para la fabricación de bioplásticos.**

Se necesitan grandes cantidades de materia prima para la gran demanda de plástico que hay actualmente, esto supone grandes extensiones de cultivo destinados a la producción de bioplásticos convirtiéndose así en competidores de superficie agrícola de alimentación ganadera, alimentación humana y biocombustibles.

- **Sistema de gestión de residuos.**

Requieren de una gestión de residuos adecuada, ya que algunos degradan a 50 °C y son más pesados que los plásticos actuales lo que significa que si llegasen al océano difícilmente alcanzaría esta temperatura y se hundirían por debajo de la superficie por lo que estarían menos expuesto a la radiación ultravioleta, que podría acelerar el proceso de degradación.

La introducción de bioplásticos en cualquiera de los canales de gestión de los residuos de envases causará inconvenientes, bien en su separación en origen, recogida, proceso de selección y/o procesos de reciclado.

Hay que tener en cuenta que los bioplásticos coexistirán con los plásticos convencionales y que hay que separarlos para su posterior uso. Esto supone un problema debido a la dificultad para identificarlos puesto que su apariencia es la misma que la de los plásticos. Por el mismo motivo también hay que separar los distintos bioplásticos entre sí ya que dependiendo de sus características se utilizarán con fines distintos, así por ejemplo los bioplásticos tienen poderes caloríficos bajos por lo que no son buenos combustibles para las incineradoras a excepción de los PHA (Polihidroxicanoatos), por lo que habría que separar éstos de los demás. *(Periáñez, 2014)*

1.3.3.4 Usos y Aplicaciones de los bioplásticos

a. Usos de los bioplásticos

Los sectores más importantes a los que van destinados estos polímeros biodegradables son:

- Envases de todo tipo: Alimentarios, cosméticos, productos de limpieza, desechables como las maquinillas y otros enseres.
- Industria automotriz: Revestimiento de interiores, salpicaderos.
- Eléctrico - electrónico: Ordenadores, fotografía.
- Agrícola: Uso para invernaderos.
- Industria textil.

Al igual que en los plásticos, el tipo de bioplástico empleado dependerá del uso que vaya a tener, debiéndose utilizar los más biodegradables para los productos con menor vida media y los que tengan mejores características físicas para los que presenten un tiempo de vida mayor.

Así para las bolsas de plástico lo que interesa es que sean muy biodegradables, para la agricultura que después de su uso sea compostable, etc.



b. Aplicaciones

Tabla N° 4: Aplicaciones actuales para bioplásticos.

Productos para el hogar y afines	Regaderas, aspiradora, pajitas.
Material de oficina	Artículos de escritura, corrector de cinta, reglas.
Mobiliario	Sillas.
Reciclaje	Bolsas y sacos de basura (compostables)
Agricultura/jardinería y paisajismo	Plásticos y fieltros agrarios, dispensadores, macetas.
Catering	Platos y cubiertos desechables, bolsas de basura.
Construcción	Mangos de herramientas, tacos, aislamientos de bio - PUR, materiales aislantes, revestimientos de terrazas y revestimientos para suelos.
Artículos eléctricos	Carcasas de ratones informáticos, teclados, teléfonos fijos, móviles, aislamientos de cables.

Fuente: Periañez, (2014).

Los bioplásticos se usan también en aplicaciones de electrónica de consumo y automóviles. Por ejemplo, Toyota ha realizado en su automóvil híbrido "Sai", sólo disponible en Japón, un equipamiento interior fabricado en un 80% de materiales primas renovables, desde el año de fabricación de 2011.

Esto fue posible mediante el uso de bioPET, un plástico con base de caña de azúcar. Pero también el PLA o espuma de poliuretano (PUR) con base de soja se usa actualmente en 5 de sus componentes automovilísticos más diversos. No existe prácticamente ningún fabricante de automóviles que no use los bioplásticos en mayor o menor medida en sus vehículos.

1.3.4 El almidón, como materia prima para la elaboración de un bioplástico.

Para convertir un almidón seco en un material bioplástico es necesario romper y fundir la estructura granular semicristalina del mismo (*Thire, 2003*). El almidón sin los aditivos adecuados (plastificantes) no tiene las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico. Los plastificantes incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular (*Mali, 2005*).

Se pueden distinguir dos tipos de ordenamiento en el almidón termoplástico después de su procesamiento: la cristalinidad residual clasificada en las formas tipo A, B y C causadas por la fusión incompleta durante la plastificación y la cristalinidad inducida durante el procesamiento, de acuerdo a los arreglos generados en las cadenas poliméricas (*Sandoval, 2005*), el tipo A es común en almidones de cereales, el B en tubérculos y el C en ciertas raíces y semillas. La cantidad de cristalinidad residual está relacionada con la temperatura y el esfuerzo de corte aplicado durante el procesamiento; de igual manera la composición de la mezcla de alimentación también influye indirectamente en esta cantidad de cristalinidad remanente.

Dependiendo de algunas condiciones de procesamiento y almacenamiento como la temperatura y la humedad, el almidón amorfo sufre cambios estructurales después del enfriamiento, basados en: recristalización de la amilosa y la amilopectina en diferentes estructuras cristalinas, separación de fase y reorientación del polímero.

Las interacciones moleculares (principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón) que ocurren después del enfriamiento son llamadas retrogradación (*Thire, 2003*). Esta retrogradación hace referencia igualmente a los cambios que tienen lugar en el almidón gelatinizado desde un estado amorfo inicial a uno cristalino más ordenado. Ocurre porque los geles de almidón no son termodinámicamente estables.

De acuerdo a (*Gudmundsson, 1994*) las cadenas de amilopectina son responsables por los fenómenos de retrogradación que se generan a largo plazo, mientras que la amilosa se relaciona con los cambios a tiempos más cortos.

1.3.4.1. Plastificantes

De acuerdo con la norma ASTM D - 883, un plastificante es un material, que se incorpora a un plástico para facilitar su proceso y mejorar su flexibilidad o distensibilidad. La adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad en estado fundido, el módulo de elasticidad, y la temperatura de transición vítrea de un plástico.

La temperatura de transición vítrea (Tg). Es la temperatura a la cual un polímero cambia de estado rígido a blando, sobre esta temperatura la movilidad molecular se incrementa y la viscosidad disminuye.

Un plastificante óptimo debe ser polar, hidrofílico y ser compatible con el almidón. Otro requerimiento importante es que su punto de ebullición sea menor que la temperatura de gelatinización para evitar su evaporación durante el proceso de mezclado. Los plastificantes funcionan incrementando la movilidad intramolecular de las macromoléculas que componen los materiales poliméricos. Lo anterior se logra interfiriendo con los mecanismos normales de unión intermolecular e intramolecular en dichos sistemas. Los plastificantes más efectivos ejercen su efecto a bajas concentraciones.

- **Glicerina:**

El propanotriol, glicerol o glicerina es un alcohol con tres grupos hidroxilos – OH (Figura N°9). Estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua. Tiene un aspecto de líquido incoloro y viscoso. Su fórmula molecular es C₃H₈O₃.

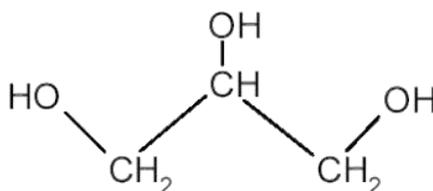


Figura N° 9: Estructura molecular del glicerol

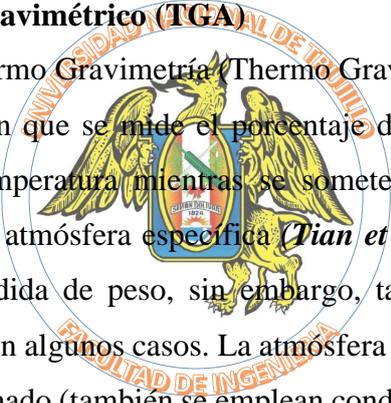
Fuente: Química Orgánica, (McMurry 2003)

Las mezclas que contienen glicerina tienen un aspecto morfológico suave y uniforme. En teoría deben tener un aspecto homogéneo final, esta característica es un claro indicador de que el almidón ha plastificado. Este componente presenta una gran utilidad para retardar la retrogradación de los productos termoplastificados y su acción como lubricante facilita la movilidad de las cadenas poliméricas del almidón.

A su vez, este plastificante reduce significativamente la resistencia a la tracción si su contenido en peso en la mezcla está por encima del 15%. Para contenidos superiores al 25% en peso de glicerina, se aprecia un cierto grado de mejora en la capacidad elástica del material (*Van Soest, 1996*).

1.3.5 Caracterización de las películas bioplásticos a base de *Solanum Tuberosum*

a. Análisis Termogravimétrico (TGA)



El Análisis por Termo Gravimetría (Thermo Gravimetric Analysis TGA) se define como la técnica en que se mide el porcentaje del peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica (*Tian et al., 2011*). Lo habitual es que se produzca una pérdida de peso, sin embargo, también es posible que haya una ganancia de peso en algunos casos. La atmósfera puede ser estática o dinámica con un caudal determinado (también se emplean condiciones de presión reducida) y los gases más habituales son N₂, aire, Ar, CO₂. También se usan H₂, Cl₂, o SO₂.

Una característica fundamental de la técnica TGA es que sólo permite detectar procesos en los que se produce una variación de peso tales como descomposiciones, sublimaciones, reducción, desorción, absorción, mientras que no permite estudiar procesos como fusiones, transiciones de fase (*Liu et al., 2009*).

El equipo utilizado en TGA es principalmente una termo balanza que consta de 5 partes principales:

1. Una microbalanza electrónica y su equipo de control.
2. Un horno y los sensores de temperatura, habitualmente un termopar colocado en las proximidades de la muestra, pero no en contacto con ella.
3. Un programador de temperatura.

4. Un controlador de la atmósfera (tipo de gas y caudal).
5. Dispositivo para almacenar los datos de peso y temperatura fundamentalmente.
6. El resultado de un análisis de TGA suele ser presentado en forma de gráfica conocida como termograma o curva termogravimétrica.

La Figura N° 10 presenta un termograma típico de los análisis de TGA, en este se presenta el porcentaje de peso de la muestra en el eje Y, que puede ser presentado en valor absoluto o en porcentaje, frente a la temperatura o al tiempo en el eje X.

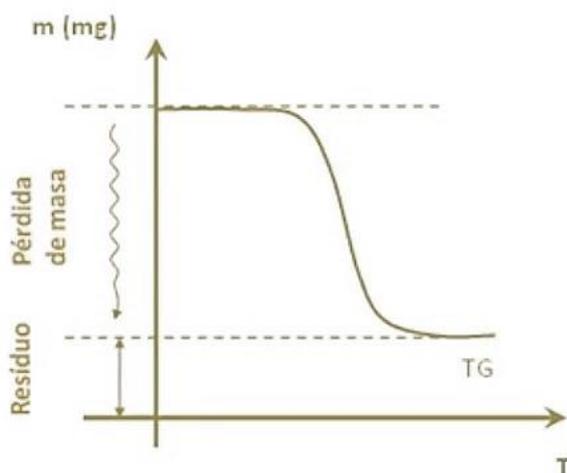


Figura N° 10: Termograma típico de los ensayos de TGA.

Fuente: Puello Méndez, (2012)

Las unidades por tanto serán (% / min), (% / °C), (mg/min o mg/ °C). Para la lectura de resultados es imprescindible especificar las condiciones experimentales en las que se realizaron las medidas, tales como:

- Atmósfera empleada y caudal.
- Programa de temperatura empleado.
- Masa de la muestra.
- Tipo y material de crisol.
- Equipos utilizados.

b. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

El análisis mediante calorimetría diferencial de barrido DSC (Differential scanning calorimetry) es una técnica experimental dinámica que nos permite determinar la cantidad de calor que absorbe o libera una sustancia, cuando es mantenida a temperatura constante, durante un tiempo determinado, o cuando es calentada o enfriada a velocidad constante, en un determinado intervalo de temperaturas. La calorimetría diferencial de barrido se ha revelado como una técnica importante en el campo de la Ciencia de Materiales debido a su elevado grado de sensibilidad y a su rápida velocidad de análisis. Por otra parte, es bien sabido que el conocimiento de la estabilidad térmica de un material, así como la completa caracterización de sus transiciones, es de primordial interés en los materiales con potenciales aplicaciones industriales (*CSIC, 2003*).

En la técnica experimental de Calorimetría Diferencial de Barrido se dispone de dos cápsulas. Una de ellas contiene la muestra a analizar y la otra está generalmente vacía y es la llamada cápsula de referencia. Se usan calefactores individuales para cada cápsula y un sistema de control comprueba si se producen diferencias de temperatura entre la muestra y la referencia (*Aparicio, 2007*). Si se detecta cualquier diferencia, los calefactores individuales se corregirán de tal manera que la temperatura se mantendrá igual en ambas cápsulas. Es decir, cuando tiene lugar un proceso exotérmico o endotérmico, el instrumento compensa la energía necesaria para mantener la misma temperatura en ambas cápsulas.

Como regla general, puede decirse que todas las transformaciones o reacciones donde se produce un cambio de energía, pueden medirse por DSC. Entre las diversas utilidades de la técnica de DSC podemos destacar las siguientes (*Rodríguez Sandoval et al., 2007*):

- Medidas de capacidad calorífica aparente (fenómenos de relajación estructural).
- Determinación de temperaturas características de transformación o de transición tales como: transición vítrea, transición ferro-paramagnética, cristalización, transformaciones polimórficas, fusión, ebullición, sublimación, descomposición, isomerización, etc.

- Estabilidad térmica de los materiales.
- Cinética de cristalización de los materiales.
- **Dinámico:** La muestra es sometida a procesos de calentamiento (o enfriamiento) constante controlado. De esta manera se obtiene la variación de flujo del calor como función de la temperatura.
- **Isotérmico:** Se calienta la muestra inicialmente, hasta una temperatura que se mantiene constante durante el transcurso del ensayo. Así, se obtiene la variación del flujo del calor como función del tiempo.

1.3.6 Ensayo mecánico a la película de bioplástico a base de *Solanum Tuberosum*

a. Ensayo de Tracción

La tensión es la reacción que se produce en el interior de un sólido cuando sobre él se aplican cargas axiales que tienden a alargarlo, esta tensión es siempre de la misma magnitud y de sentido contrario a la carga aplicada (**Brindis, 2006**).

El ensayo de tensión se utiliza para evaluar varias propiedades mecánicas de los materiales que son importantes en el diseño, dentro de las cuales se destaca la resistencia a la tensión. En este ensayo la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente una tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Las muestras normalmente tienen sección transversal circular, aunque también se usan especímenes rectangulares.



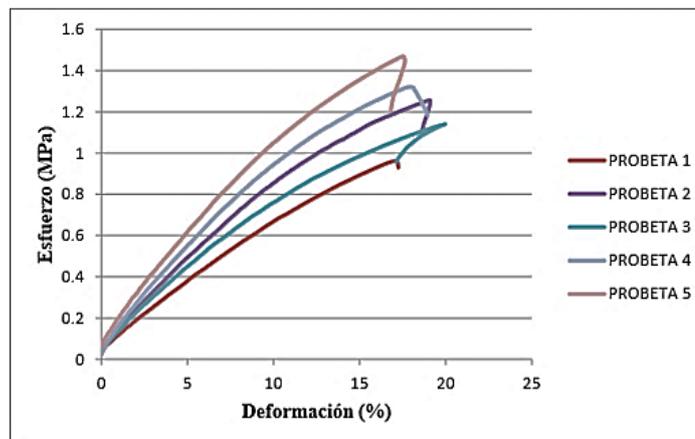


Figura N° 11: Curva de Esfuerzo vs Deformación para bioplástico de papa con distintos porcentajes de glicerina.

Fuente: Meza Ramos, (2016)

Durante la tensión, la deformación se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud.

La muestra se sostiene por sus extremos en la máquina por medio de soportes o mordazas que a su vez someten la muestra a tensión a una velocidad constante. La máquina al mismo tiempo mide la carga aplicada instantáneamente y la elongación resultante (usando un extensiómetro). Un ensayo de tensión normalmente dura pocos minutos y es un ensayo destructivo, ya que la muestra es deformada permanentemente y usualmente fracturada (*Guede y Caamaño, 2006*).

El método estándar para las propiedades de tensión de los plásticos según la norma ASTM D - 638, cubre la determinación de las propiedades de la resistencia a la tensión de los plásticos reforzados y no reforzados, ésta prueba se realiza bajo condiciones definidas de temperatura, humedad y velocidad de la máquina. Este método puede ser utilizado para ensayar materiales con un espesor entre 1.0mm (0.04 in) a 14 mm (0.55 in). Para las pruebas de láminas delgadas con un grosor menor a 1.0 mm (0.04 in) se prefiere el método de ensayo ASTM D - 882, y para materiales con un grosor superior a 14 mm debe ser reducido mecánicamente.

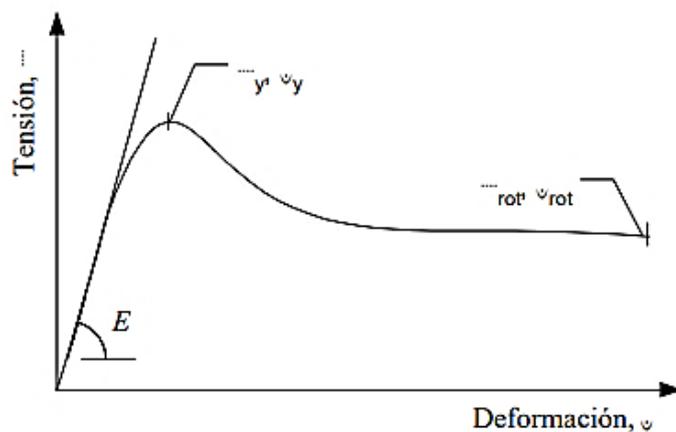


Figura N° 12: Diagrama Tensión vs Deformación.

Fuente: Guede y Caamaño, (2006).



1.4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿En qué medida influye el porcentaje en peso de plastificante sobre la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de solanum tuberosum?

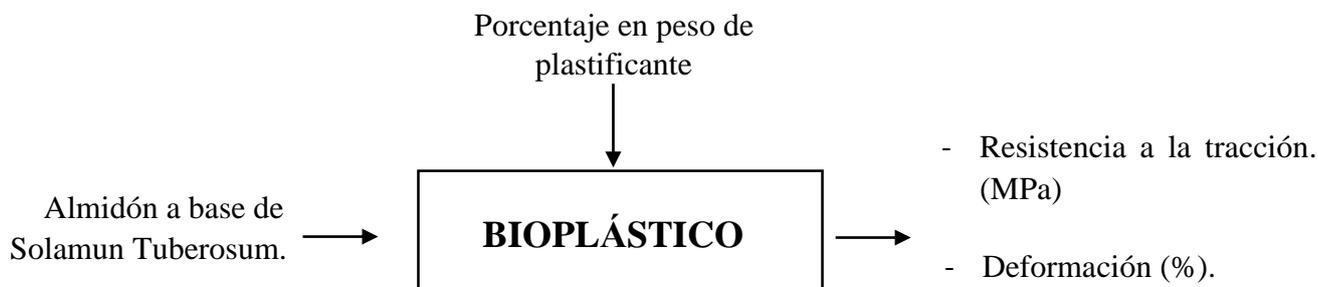


Figura N°13: Diagrama esquemático del problema experimental.

1.5. HIPÓTESIS

¿A medida que aumentará, el porcentaje en peso de glicerina, disminuirá la resistencia e incrementará la deformación en tracción del Bioplástico a base de Almidón de Solanum Tuberosum??

1.6. OBJETIVOS:

1.6.1. Objetivo General:

- Como explicar la influencia del porcentaje de plastificante existente sobre la resistencia y deformación en tracción generado en los bioplásticos obtenidos a partir de almidón de Solanum Tuberosum.

1.6.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la resistencia a la tracción y deformación en tracción de bioplásticos a base de almidón de papa a diferentes porcentajes de glicerina.
- Determinar las mejores condiciones del proceso que conduzcan a las mejores propiedades de resistencia mecánica y deformación en tracción para bioplásticos a base de almidón de papa.
- Determinar los porcentajes óptimos de glicerina que permitan obtener la mejor resistencia y deformación en tracción de bioplásticos a base de almidón de papa.

1.7. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El propósito de este trabajo es proporcionar una alternativa para evitar, o al menos, reducir el problema de los desechos producidos a partir de los productos plásticos tradicionales como son las bolsas, botellas y demás productos plásticos cotidianos, considerando en largo tiempo de degradabilidad que presentan dichos productos.

En este contexto, este trabajo está orientado al desarrollo de un material biodegradable a partir de almidón de papa mezclado con diferentes porcentajes de plastificante y que sea amigable con el ecosistema para ser empleado como material de embalaje para distintos productos y al ser un material biodegradable reduciría los altos niveles de contaminación generado por los grandes volúmenes de desechos de plásticos tradicionales.



CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

2. Materiales

2.1. MATERIALES DE ESTUDIO

El material de estudio serán bioplásticos obtenidos del almidón de *Solanum Tuberosum* con distintos porcentajes de plastificante.

2.1.1. Universo objetivo:

El universo objetivo de esta investigación son Bioplásticos.

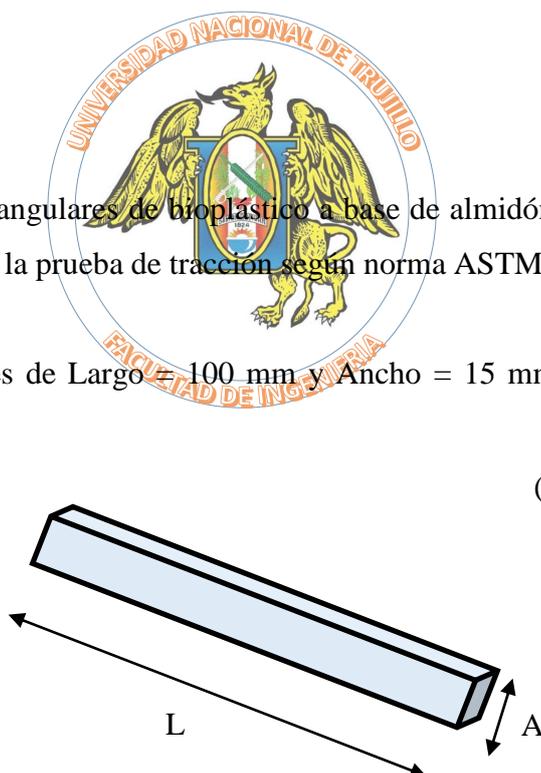
2.1.2. Población o universo Muestral:

La población muestral fueron Bioplásticos a base de almidón del Tubérculo *Solanum Tuberosum*.

2.1.3. Muestra:

25 probetas rectangulares de bioplástico a base de almidón del Tubérculo *Solanum Tuberosum* para la prueba de tracción según norma ASTM D 882 para muestras con plastificante.

Con dimensiones de Largo = 100 mm y Ancho = 15 mm como se muestra en la Figura N° 14.



(L) = Largo, (A) = Ancho

Figura N° 14: Dimensiones de probeta para prueba mecánica en tracción.

2.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1. Diseño de Contrastación.

a) Matriz de Diseño

VARIABLE INDEPENDIENTE	NIVELES DE ESTUDIO
Factor A: Porcentaje de plastificante (%)	$a_1 = 3$
	$a_2 = 5$
	$a_3 = 8$
	$a_4 = 10$
	$a_5 = 12$



VARIABLES DEPENDIENTES
X: Resistencia a la Tracción (MPa) Y: Deformación (%)

Tabla N° 5: Matriz de Diseño experimental.

Nivel de Estudio	Réplica	Número de Probetas	XY
a1	I	a11	X ₁₁ Y ₁₁
		a12	X ₁₂ Y ₁₂
		a13	X ₁₃ Y ₁₃
		a14	X ₁₄ Y ₁₄
		a15	X ₁₅ Y ₁₅
a2	II	a21	X ₂₁ Y ₂₁
		a22	X ₂₂ Y ₂₂
		a23	X ₂₃ Y ₂₃
		a24	X ₂₄ Y ₂₄
		a25	X ₂₅ Y ₂₅
a3	III	a31	X ₃₁ Y ₃₁
		a32	X ₃₂ Y ₃₂
		a33	X ₃₃ Y ₃₃
		a34	X ₃₄ Y ₃₄
		a35	X ₃₅ Y ₃₅
a4	IV	a41	X ₄₁ Y ₄₁
		a42	X ₄₂ Y ₄₂
		a43	X ₄₃ Y ₄₃
		a44	X ₄₄ Y ₄₄
		a45	X ₄₅ Y ₄₅
a5	V	a51	X ₅₁ Y ₅₁
		a52	X ₅₂ Y ₅₂
		a53	X ₅₃ Y ₅₃
		a54	X ₅₄ Y ₅₄
		a55	X ₅₅ Y ₅₅

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de diseño utilizada según el diseño experimental unifactorial se presenta en la siguiente tabla (número de pruebas):

Número total de Pruebas para el ensayo de = (N° de niveles) x (N° de réplicas)
Resistencia a la Tracción y Deformación
en Tracción $= (5 \times 5) = 25$

Por lo tanto: sumados los totales de las pruebas de ensayo de resistencia mecánica y deformación; nos da un total de 25 probetas que constituyen que constituyen 25 pruebas.



2.3. METODOS

2.3.1. Procedimiento Experimental

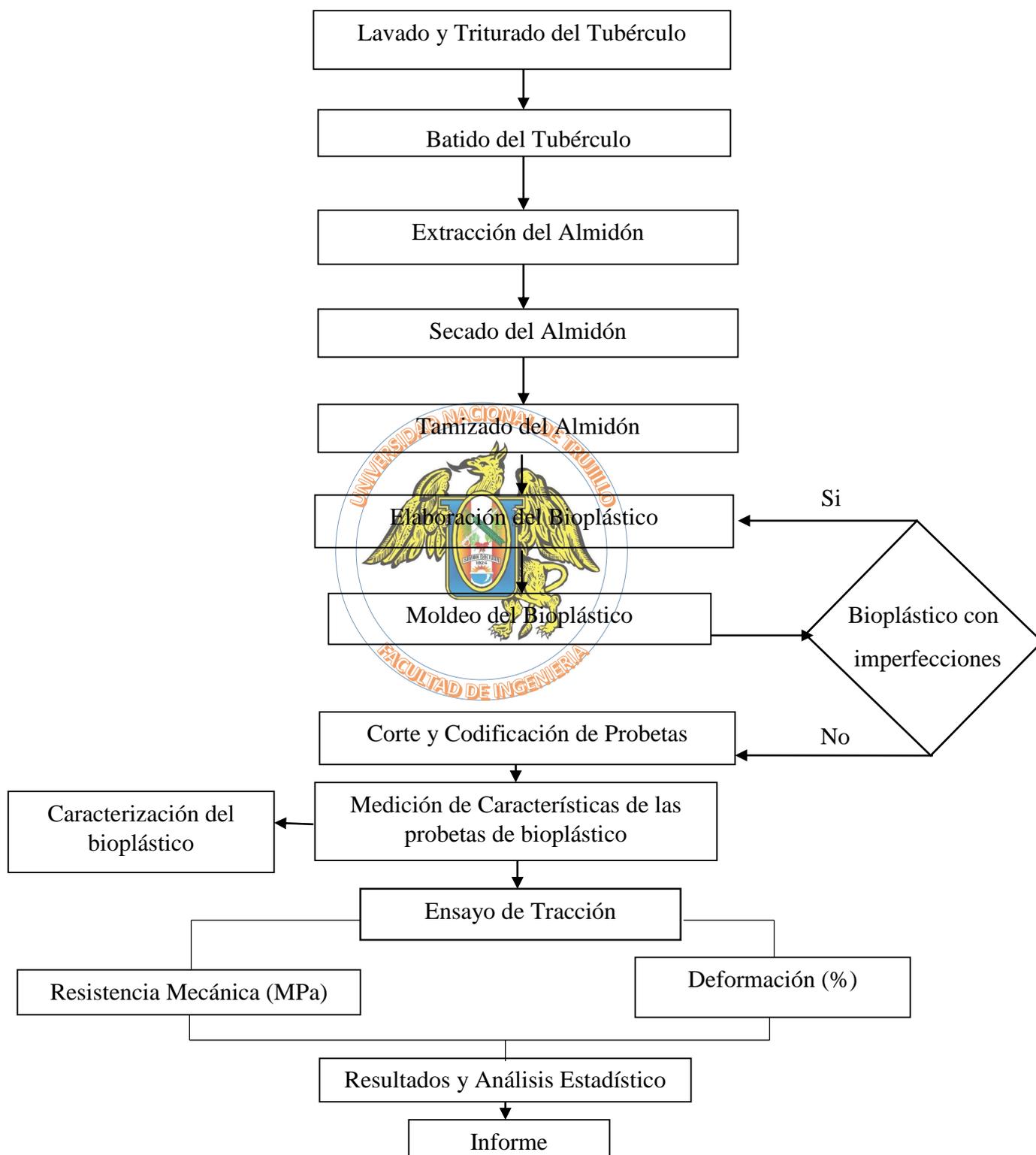


Figura N° 15: Diagrama del procedimiento experimental.

1. Lavado y triturado del tubérculo.

Se utilizó 20 kg de papa Yungay a las cuales se eliminó la tierra adherida a la cáscara de las papas con agua potable. Para luego retirar la cascara de la papa Yungay y nuevamente lavarlas para después cortarlas en pequeños trozos.

2. Batido del tubérculo.

Se colocó entre 200 a 250 g de papa Yungay en trozos por 100 ml de agua destilada y se procedió a licuar en la licuadora de la marca BOSCH 1 HP de potencia, hasta obtener una consistencia homogénea.

3. Extracción de almidón.

Se dejó decantar en vasos de precipitación de 1000 ml por 1 hora. Para luego desechar el sobrenadante. Y nuevamente realizar otra decantación agregándole agua destilada para su lavado por 1 hora.

4. Secado del almidón.

Se dejó secar el almidón sobre tela fieltro por 48 horas a temperatura ambiente. Se retiró el almidón de la tela fieltro y se colocó en vasos de precipitación para luego llevarlo a la estufa a una temperatura de 45 °C por 24 horas.

5. Tamizado del almidón.

- El almidón ya propiamente seco fue molido con un mortero para reducir el tamaño de partículas.
- Luego se tamizo el almidón de solanum tuberosum usando un tamiz N° 100.

6. Elaboración del Bioplástico

Basados en los antecedentes empíricos y las pruebas preliminares realizadas, pudieron establecer los parámetros especificados en la tabla 5, como las mejores condiciones experimentales para la obtención del bioplástico. Los valores especificados para cada uno de los parámetros se mantienen constantes durante la experimentación.

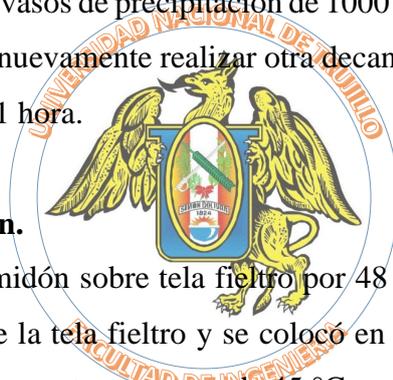


Tabla N° 6: Parámetros de trabajo determinados en ensayos preliminares.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Volumen de Agua Destilada	25	ml
Masa del Almidón	2.5	g
Volumen de Ácido Clorhídrico	3	ml
Volumen del Hidróxido de Sodio	3	ml
Temperatura de la mezcla	70 – 80	° C
Tiempo de exposición	10 – 15	min.
Temperatura de secado	45	° C
Tiempo de secado	48	h

Fuente: *Elaboración propia.*

- La variable del proceso de elaboración del bioplástico a partir de almidón la constituye el plastificante que se adicionan a la mezcla; este es: el porcentaje en peso de glicerina cuyo valor depende del diseño experimental aplicado.

Se estableció el siguiente procedimiento para la elaboración de bioplásticos:

- Se pesó 2.5 g de almidón de papa y la cantidad de glicerina que corresponda al tipo de muestra.
- Se vertió 25 ml de agua destilada en un vaso de precipitación, se le agregó 2.5 g de almidón y se mezcló de forma homogénea.
- Se agregó 3 ml de HCL al 0.1 molar se homogeniza la mezcla y se elimina toda burbuja que se pueda generar.
- Se añadió la glicerina como se muestra en la Tabla N° 7 y se mezcla.

Tabla N° 7: Porcentaje en peso de glicerina.

Niveles	Porcentaje en peso de Glicerina (g)
3%	1.15
5%	1.97
8%	3,25
10%	4,2
12%	5,09

Fuente: *Elaboración propia.*

- Se homogeniza la mezcla y se lleva a baño maría a una temperatura entre 70 a 80 °C. En constante agitación se mantiene toda la mezcla con una varilla de vidrio una vez que se observa una consistencia gomosa (aproximadamente 10 a 15 minutos dependiendo de tipo de muestra).
- Se le agrego 3 ml de NaOH al 0.1 molar para su neutralización, se agita hasta observa un cambio en el color de la mezcla.

Tabla N°8: Resumen con los materiales y cantidades usados para el bioplástico

Materiales / Reactivo	Cantidad
Almidón de papa	2.5 g
Agua destilada	25 ml
HCl (0.1 M)	3 ml
Glicerina	(1.15),(1.97),(3.25),(4.2) y (5.09)g
NaOH (0.1 M)	3 ml

Fuente: *Elaboración propia.*

7. Moldeo del bioplástico

- Se engrasa las placas de vidrio de 15 x 15 cm con aceite vegetal, se vertió toda la mezcla y esparció para formar una capa uniforme.
- Se llevó a la estufa a una temperatura de 45°C por 24 horas.

Nota: Si después de desmoldar las películas de bioplástico éstas se encuentran en buen estado (sin grietas) pasar a la siguiente etapa, caso contrario descartamos estas muestras y volvemos a elaborar el bioplástico.

8. Corte y Codificación de probetas

- Luego de retirar las muestras de la estufa se dejó secar por 24 horas más a temperatura ambiente para su fácil desmolde.
- Se desmoldo las películas de bioplástico.
- Se cortó las películas de bioplástico cuidadosamente para obtener probetas con 100 mm de Largo y 15 mm de Ancho.
- Se codificaron las probetas de acuerdo su porcentaje de plastificante para su identificación.

9. Medición de la característica de bioplásticos.

Se realizó la medida de largo, ancho con un vernier electrónico de la marca TRUPER haciendo 3 repeticiones por medición.

10. Caracterización de bioplásticos a base de almidón de papa.

La caracterización de las películas de bioplásticos se realizó por medio de técnicas como análisis Termogravimétrico (TGA), calorimetría de barrido diferencial (DSC), ensayo de determinación de la densidad específica y el ensayo de tracción.

a. Ensayo de Análisis Termogravimétrico (TGA)

El TGA o análisis termogravimétrico se ha realizado en el analizador térmico SETARAM disponible en el laboratorio de Materiales Poliméricos de la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo. Estas pruebas se han realizado de forma simultánea a los análisis DSC.

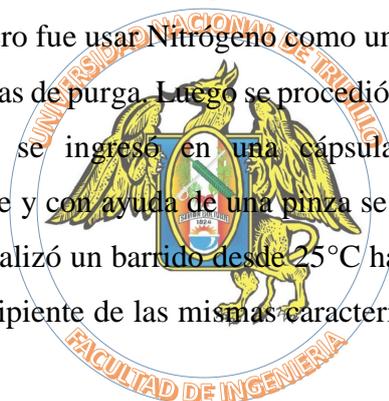
El procedimiento establecido por la norma ASTM E 1131 – 08 se aplicó para el análisis termogravimétrico, donde lo primero que se hizo para emplear el equipo fue usar Nitrógeno como gas inerte a una velocidad de 10 ml por minuto, posteriormente se taró la balanza y se pesaron las muestras de bioplástico para cada porcentaje de plastificante, entre 10 y 20 mg, y con cuidado se colocó en el

soporte de la muestra. Inmediatamente se colocó el sensor de temperatura cerca de la muestra y se registró la masa inicial. Se inició el programa de calefacción desde una temperatura ambiente hasta 550 °C a una tasa de calentamiento de 10 °C por minuto y se registró el cambio de masa durante este intervalo de temperatura.

b. Ensayo de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para las películas de bioplásticos hechas a partir de diferentes porcentajes de plastificante, se realizó un estudio para determinar el cambio de propiedades térmicas (transiciones de fase, temperatura de transición vítrea y temperatura de fusión).

Se utilizó el Analizador Termogravimétrico bajo la norma ASTM D 3418 – 08, donde lo primero fue usar Nitrogeno como un gas inerte a un flujo de 10 ml por minuto como gas de purga. Luego se procedió a pesar entre 5 y 10 mg de muestra de película y se ingresó en una cápsula de aluminio la cual se selló herméticamente y con ayuda de una pinza se llevó dentro de la cámara térmica del DSC. Se realizó un barrido desde 25°C hasta una temperatura de 550°C. Se utilizó otro recipiente de las mismas características completamente vacío como referencia.



c. Estereoscopía.

Las fotos de estereoscopía fueron tomadas con un aumento de 400X, en un estereoscopio de la marca OLYMPUS de la serie CX41, disponible en el laboratorio de Investigación de UPAO.

11. Ensayo de Tracción y Elongación.

- Una vez obtenidas las películas de bioplástico fueron cortadas en probetas de 100 mm de largo por 15 mm de ancho según lo especificado por la norma en mención y se codificó cada una de las probetas.

- Se midió el largo de cada una de las probetas de bioplástico con un vernier digital del laboratorio de Materiales Polímeros, el espesor de cada una de las probetas fue medido 3 veces con un medidor de espesor por ultrasonido modelo MICRO PINTER del laboratorio de Corrosión y Degradación de Ingeniería de Materiales.
- Posteriormente las 25 probetas de bioplástico de solanum tuberosum fueron sometidas a la prueba de tracción y elongación. El ensayo mecánico se realizó en un equipo Texturómetro de la marca STABLE MICRO SYSTEM, modelo: TA. HD PLUS TEXXTURE ANALYZER, disponible en el laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Del Ensayo de Tracción realizado se obtuvieron datos como Resistencia Mecánica (MPa) y Deformación (%), efectuándose a velocidad de carga de 2 (mm/s).

12. Resultados y Análisis Estadístico

Para la evaluación estadística de los resultados se utilizó la prueba F (Fisher) para determinar la influencia significativa de la resistencia a la tracción y % de deformación. El análisis de varianza (ANAVA) se efectuó a un nivel de confianza de 95 %.



13. Informe

Con los resultados se realizó el informe Final de acuerdo al formato requerido por la Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales.



3.1. ELABORACIÓN DEL FILM BIOPLÁSTICO

En la Fig. N° 16 se puede observar un film bioplástico a base de *Solanum Tuberosum* con 3% de glicerina, el cual fue obtenido por método casting. De igual forma se puede observar en la Fig. N°17, películas de bioplástico obtenidos a otros porcentajes de plastificante, cuyo sustrato en las que fueron depositados fueron placas de material de vidrio.



Figura N° 16: Bioplástico de *Solanum Tuberosum* con 3% de glicerina.

Fuente: Elaboración propia



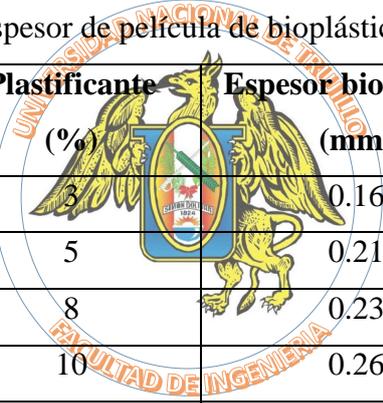
Figura N° 17: Películas de bioplástico de *Solanum Tuberosum* con distintos porcentajes de 3, 5, 8, 10 y 12 % Glicerina.

Fuente: Elaboración propia.

Puede apreciarse de la Fig.N°16 la obtención total del film bioplástico sin rasgadura o fragmentación, lo que da una primera impresión de su facilidad en la que pueden ser manufacturados y su adecuado desprendimiento del soporte de vidrio que sirven como molde y se puede ver en la Fig.N°17.

La obtención de las películas bioplásticas, a los diferentes niveles de plastificante, permitieron conseguir espesores de película diferentes en función al porcentaje de plastificante incorporado, según lo mostrado en la siguiente Tabla N°9. Pues como podemos notar el menor espesor de 0.17 mm es obtenido para el nivel de 3% de plastificante, en tanto que el espesor va incrementándose cuando se aumenta el porcentaje de plastificante, consiguiéndose el más alto espesor de 0.34 mm con el nivel de 12% de plastificante.

Tabla N° 9. Espesor de película de bioplásticos de muestras obtenidas



Plastificante (%)	Espesor bioplástico (mm)
3	0.16
5	0.21
8	0.23
10	0.26
12	0.34

3.2. ANÁLISIS TÉRMICO DE LOS BIOPLÁSTICOS

3.2.1. Caracterización mediante Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Los bioplásticos obtenidos a distintos porcentajes de plastificante glicerina, según los niveles de estudio, fueron caracterizados mediante análisis térmico DSC, cuyos resultados se aprecian en las curvas de la Fig. N°18. En ella puede notarse una similitud en los picos endotérmicos para los 5 niveles de glicerina incorporados en las biopelículas, es decir, en todas ellas, y tal como se muestran en las curvas (a), (b), (c), (d) y (e) muestran los picos endotérmicos característicos del comportamiento,

frente a la temperatura, del almidón y de la glicerina incorporado, además del pico endotérmico característico de la evaporación del agua.

Las Tablas N°10 y 11, muestra la cantidad de material utilizado para el análisis térmico DSC – TG, y las condiciones de operación del ensayo, respectivamente.

Tabla N° 10: Composiciones de las mezclas que han sido analizadas en DSC/TGA.

Porcentaje del plastificante Glicerina de una masa total del 37,37 g	Cantidad (g)	Cantidad utilizada de bioplástico durante los ensayos (mg)
3%	1.15	11
5%	1.97	8.2
8%	3.25	9.2
10%	4.15	13
12%	5.09	13.5

Fuente: Elaboración propia.

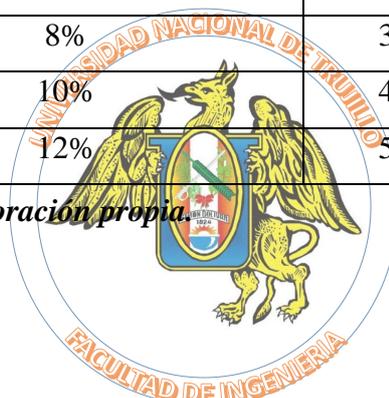


Tabla N° 11: Condiciones del ensayo de DSC y TGA

Condiciones del ensayo de DSC y TGA	Atmósfera inerte con Hidrógeno a 10 ml por minuto .
	En un intervalo desde 25 °C hasta 550 °C.
	Tasa de calentamiento 10 °C por minuto.

Fuente: Elaboración propia.

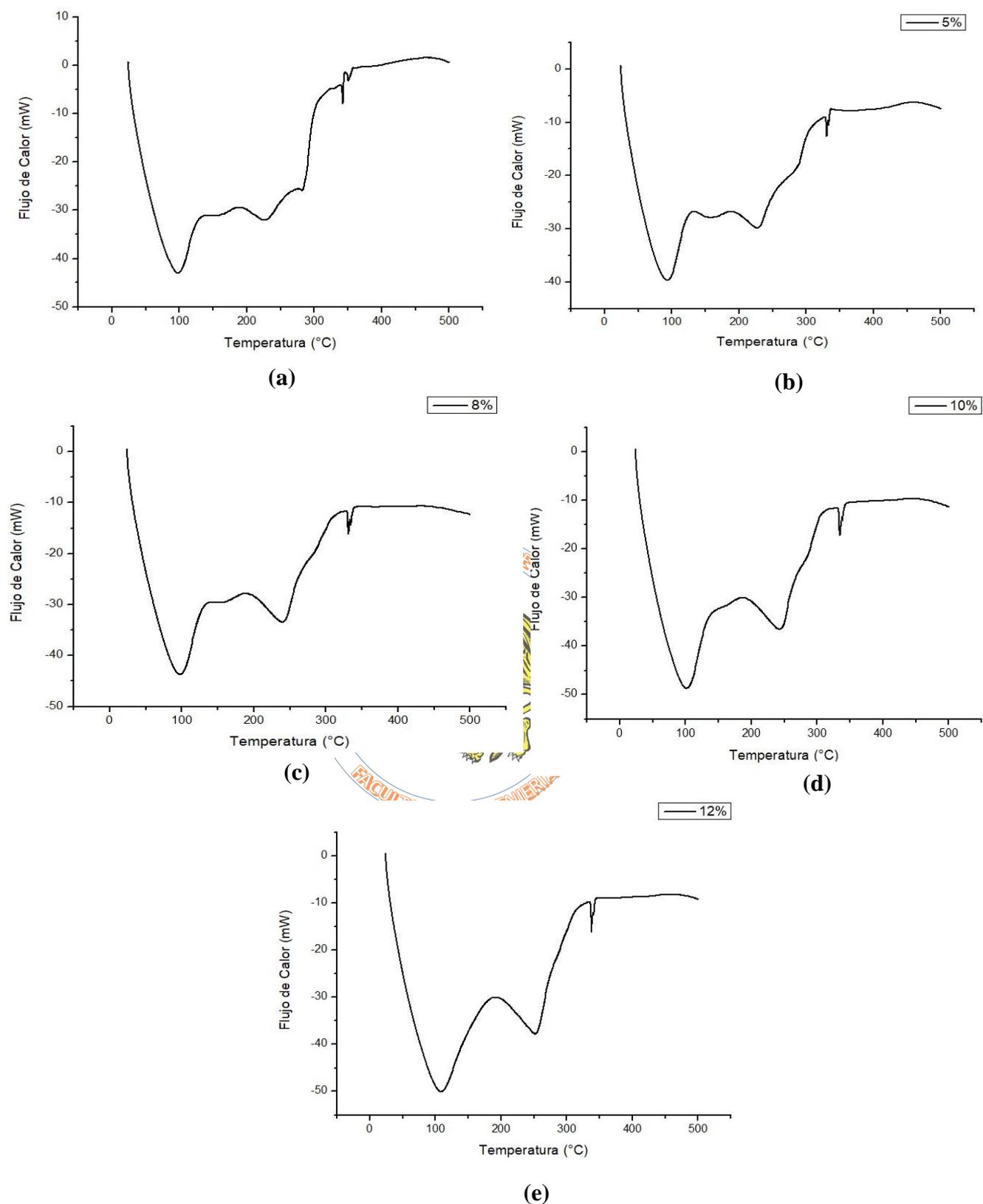


Figura N° 18: Gráficos del ensayo de DSC para el bioplástico con distintos porcentajes de glicerina de a) 3%, b) 5 %, c) 8 %, d) 10 % y e) 12 %.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Caracterización mediante Termogravimetría (TGA)

En la Fig. N°19 se muestra el termograma TGA para las muestras de bioplástico de almidón de papa con 3 % de glicerina. En ella se puede percibir la curva de descomposición o degradación del bioplástico por efecto de la temperatura a partir de su pérdida de masa llevado a cabo desde los 25°C hasta 500°C.

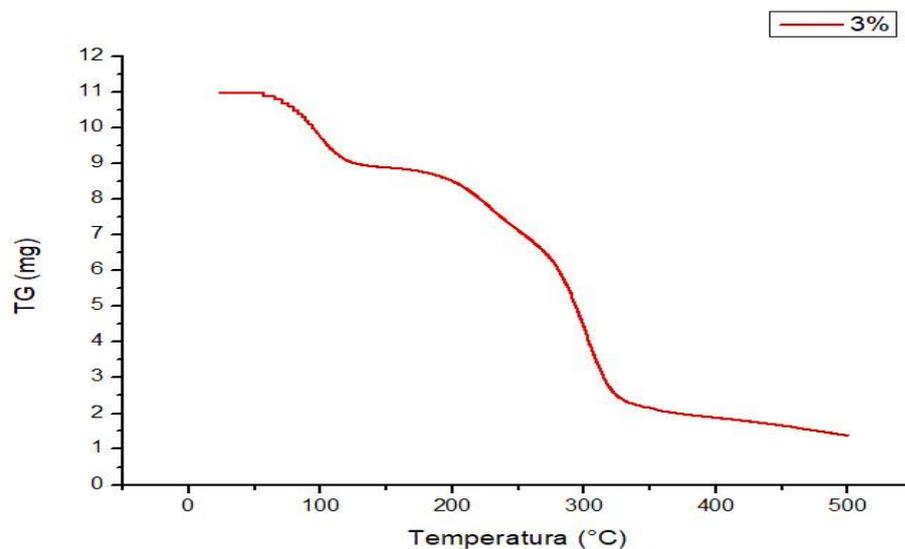


Figura N° 19: Curva TG para la muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. ANÁLISIS DE BIOPLÁSTICOS MEDIANTE ESTEREOCOPIA.

En la Fig. N°20; se observa las imágenes obtenidas por estereoscopia a 400 aumentos de las muestras de bioplásticos a cada nivel de plastificante. Las zonas oscuras corresponden a defectos superficiales generados durante la elaboración del bioplástico por método casting. Siendo la probeta con menos defectos superficiales la figura “a” correspondiente a bioplástico con 3% de glicerina y la probeta con más defectos superficiales, la figura “e” correspondiente a bioplástico al 12% de glicerina.

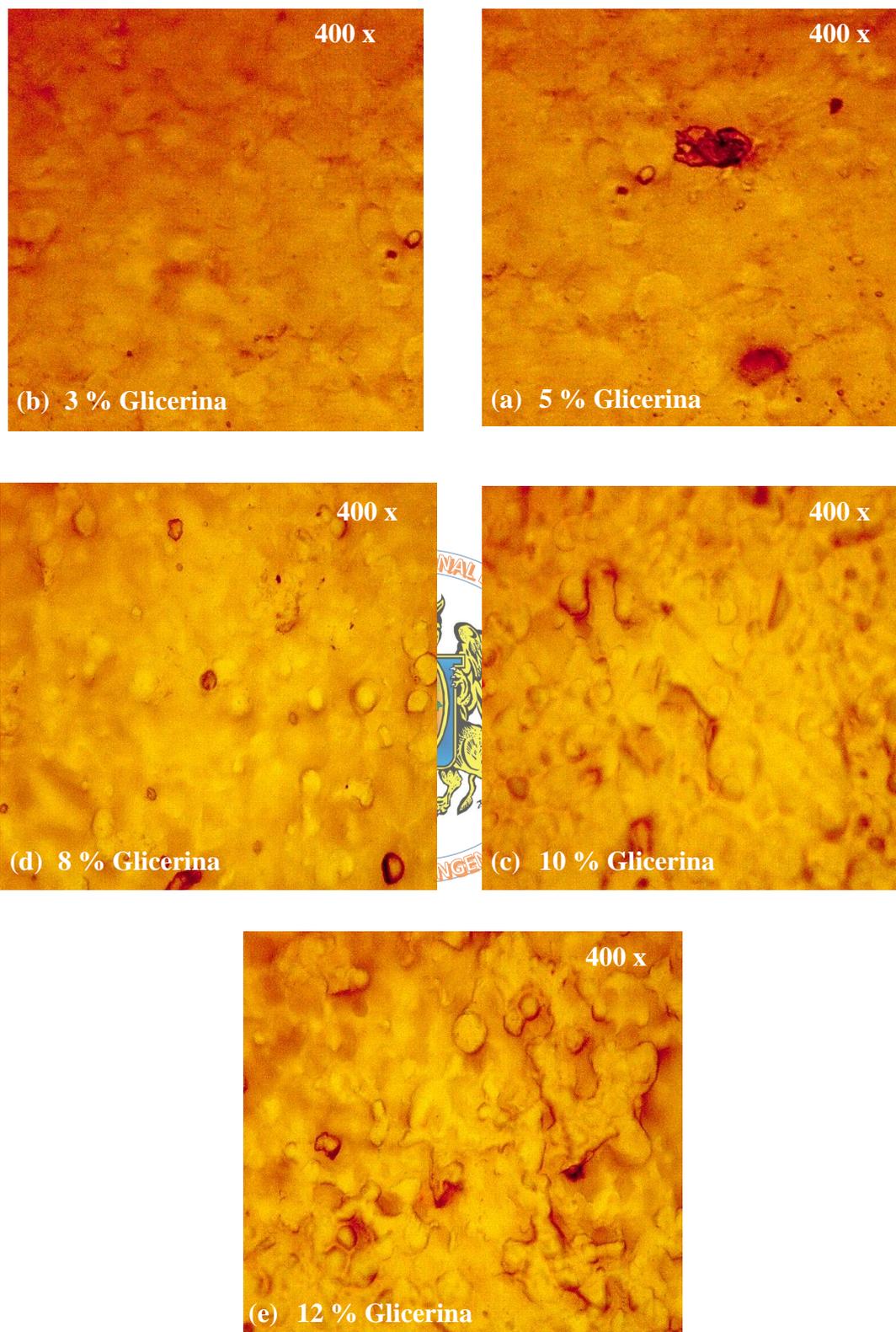


Figura N° 20: Imágenes mediante estereoscopia de las muestras de bioplásticos a 400X de aumento.

3.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LOS BIOPLÁSTICOS

En la Tabla N° 12, se indican los valores promedios del esfuerzo máximo en MPa y la deformación porcentual de la prueba de tracción para las muestras de bioplásticos obtenidos a los distintos porcentajes de plastificante glicerina utilizado.

El detalle de los valores reales, obtenidos de las curvas tensión versus deformación se exhiben en la Fig. N° 21, en ella se muestran las curvas de Tracción vs % Deformación para los bioplásticos a 3, 5, 8, 10 y 12 % de plastificante.

En la Tabla N° 12, observamos que el bioplástico obtenido a 3% de plastificante glicerina tiene la mayor resistencia a la tensión y la más alta deformación porcentual, obteniéndose un valor de 2,57 MPa y 44,76 % de deformación respectivamente, la que se puede corroborar con su correspondiente curva real esfuerzo vs deformación especificada en la Fig. 21, parte (a).

En tanto que en la curva de la Fig. N° 21 parte (e) permite evidenciar que el bioplástico a 12 % de glicerina resulta obtener una resistencia a la tracción máxima promedio de 0.17 MPa y 13.37 % de deformación media la misma que es especificada en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12: Resultado del Ensayo de Tracción y Elongación.

Glicerina (%)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación (%)
3	2.57	44.76
5	1.13	34.97
8	0.6	31.8
10	0.25	23.69
12	0.17	13.37

Fuente: Elaboración propia.

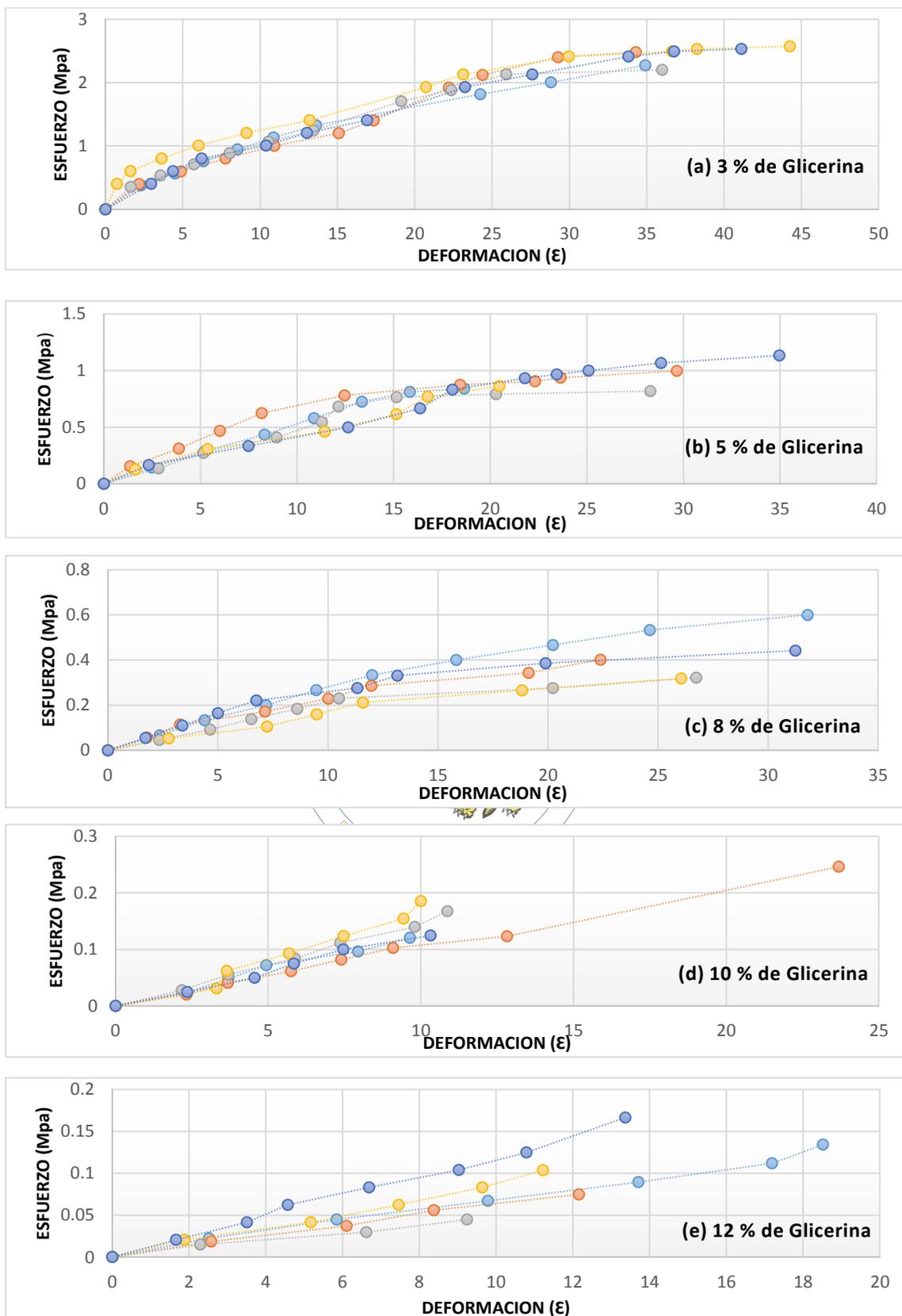


Figura N° 21: Curvas reales esfuerzo vs deformación, en detalle, del ensayo de tracción para los bioplástico obtenidos a distintos % de Glicerina.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS



4.1. ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO

Producto de los procesos de gelatinización, llevada a cabo por la hidratación de los gránulos de almidón al calentarse en medio acuoso, y la posterior retrogradación conducida por la reorganización molecular para la formación de estructuras más cristalinas, es que el producto final obtenido debiera ser un material rígido con naturaleza quebradiza, pero la incorporación de glicerina como material plastificante consiguió incorporar en las muestras obtenidas en esta investigación, materiales con características viscoelásticas, las mismas que se pueden corroborar con la imagen de la Fig. N°16 y los resultados de la Fig. N°21 que evidencia un cierto nivel de elasticidad mostrado por la pendiente de las curvas esfuerzo vs deformación especificadas en esas figuras.

Como podemos observar, de la Tabla N° 9, los espesores de los bioplásticos, varían en función con el nivel de plastificante incorporado al material, esto se debe a que la mayor cantidad de plastificante glicerina, que actúa como lubricante, reductor de fuerzas intermoleculares, hace más extensible al material haciendo que se hinche un tanto más en la dirección de sus dimensiones; a ello obedece que el bioplástico con 12% de plastificante tenga un mayor espesor 0.34 mm, y a 3% de plastificante se tenga 0.17 mm de espesor. Nuestros resultados, principalmente los de nivel de plastificante al 3%, tiene cierta proximidad con los obtenidos por Alarcón Caveró (2016) que consiguieron obtener espesores de películas de 0.11 mm para niveles similares de plastificante; los mayores espesores se deben a la naturaleza viscosa de la suspensión viscosa en sistema acuoso del almidón, acrecentado por la presencia de plastificante en mayor cantidad.

4.2. ANÁLISIS TÉRMICO DSC – TG DE LOS BIOPLÁSTICOS

La Fig. N°22 agrupa las curvas calorimétricas de las muestras, a distintos niveles de plastificante, de bioplásticos elaboradas en esta investigación, y tal como se aprecia, todas ellas muestran los picos endotérmicos alrededor de los 100°C característico de la vaporización del agua contenida en los materiales bioplásticos. Como se puede apreciar en cuanto aumenta el contenido de plastificante se incrementa ligeramente la temperatura de vaporización según las curvas DSC, esto podría explicarse según lo relatado por Sergio Martínez (2015) a causa de que el agua no se encuentra en la superficie de los bioplásticos, sino que se encuentra confinada o absorbida dentro de las películas bioplásticas, por lo

que la temperatura registrada por el sensor es mayor a la posible temperatura real de vaporización del agua dado que podría requerir mayor tiempo para lograr la transferencia de calor efectivo hacia el agua interna.

El segundo pico de absorción térmica corresponde a una combinación de efectos, de dos fenómenos, el primero de ellos correspondería a una transformación por descomposición por pirolisis del almidón, pues este toma lugar a partir de los 200°C cuando se comienzan a romper los enlaces de glucosídicos de los anillos de glucosa del almidón, y en segundo lugar, y el que sería el efecto más notorio y contundente de las curvas DSC de los resultados de la Fig. N°22 sería el efecto por causa de la vaporización de la glicerina incorporada en los bioplásticos que al alcanzar la temperatura de ebullición en 285°C pues el material evidenciará una transformación endotérmica en torno a esta temperatura. Además esto tiene correspondencia con los resultados de la Fig. N°22, pues la curva DSC para niveles de 3 y 5% de plastificante glicerina muestran picos endotérmicos menores, en comparación a las curvas DSC para niveles de 10 y 12% de glicerina, pues mientras mayor cantidad de plastificante glicerina se haya incorporado al material, deberá presentarse un pico endotérmico más intenso, pues hay mayor intensidad de vaporización y también la temperatura de la misma suele incrementarse a medida que se incrementa la cantidad de la glicerina, tendiendo a los 285°C.



La evidencia de la ocurrencia de esa combinación de efectos explicado anteriormente se nota en el termograma de la Fig. N°19 resultante para el bioplástico obtenida a 3% de plastificante y para los otros niveles de glicerina, pues como se puede apreciar en el segundo sector de caída de la masa, se aprecia el inicio del descenso de la curva TG en torno a 200°C propio de la descomposición del almidón por efecto de rotura de enlaces glucosídicos, y en el mismo sector se muestra otra caída de la masa evidenciado por una pendiente más vertical entre 270 y 320 °C atribuido a la vaporización de la glicerina presente en el bioplástico, tal y como lo reporta Iris Morey (2014).

Finalmente, notamos un tercer pico endotérmico, aunque más pequeño que los dos anteriores, a aproximadamente 350°C, esto correspondería al punto de auto ignición característico de la glicerina reportado en la literatura como temperaturas de 370°C, la diferencia podría deberse a efectos de las moléculas de glicerina vinculada con las estructuras descompuestas del almidón. Y como es notorio la intensidad del pico

endotérmico en la autoignición suele aumentar en tanto tenga mayor cantidad de glicerina, como se aprecia en las curvas DSC, siendo menor para 3% y mayor para los niveles de mayor % de glicerina, como el de 12%.

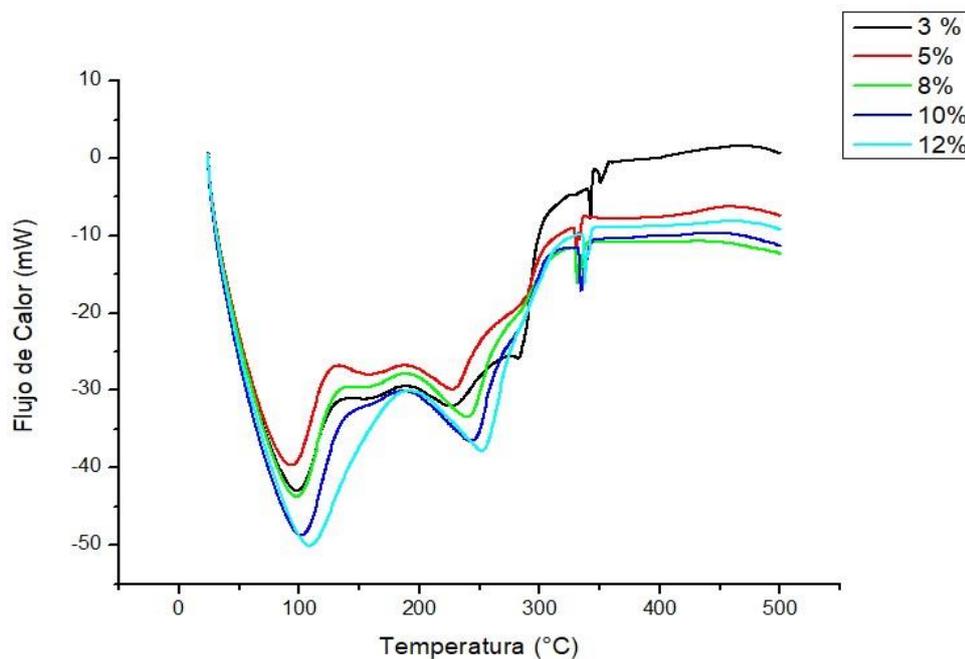


Figura N°22: Gráfico de DSC de almidón de papa con 3,5,8,10 y 12 % de glicerina

4.3. ANÁLISIS POR ESTEREOSCOPIA DEL BIOPLÁSTICO

La Figura N° 20, evidencian imperfecciones de carácter superficial, haciendo más significativo en los bioplásticos obtenidos a mayores niveles de plastificante, es decir, de la referida figura son más notorios los defectos superficiales de los bioplásticos de 10 y 12 % de plastificante, y menos significativos de 3 y 5% de plastificante. Estos resultados estereoscópicos tienen cierta relación con las imágenes obtenidas vía estereoscopia de otros investigadores, entre ellos la de Meza Ramos, (2016) quienes también obtuvieron resultados similares al constatar defectos superficiales en significancia mayor para las biopelículas obtenidas a mayores niveles de plastificantes, es necesario resaltar el perjuicio de estos defectos superficiales sobre las propiedades conseguidas en el material de estudio, haciendo empeorar propiedades mecánicas, físicas y otras.

La presencia de aquellas pequeñas imperfecciones superficiales observadas en la Fig. N° 20 pueden ser causados por la naturaleza del método de conformación casting y la

agitación propia del método que pudo haber ocasionado la incorporación de pequeñas burbujas de aire atrapado por la viscosidad del sistema de suspensión del almidón y que podría haber sido alterado en la etapa de gelatinización y estructuración, que al hincharse los gránulos del almidón, se produce la destrucción de los enlaces de hidrogeno entre las moléculas de almidón.

4.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN

La Fig. N° 23 se resume los esfuerzos máximos de tracción alcanza para los distintos bioplástico según los niveles de plastificante incorporado. Según Otey (1976), los plastificantes solubles en agua como la glicerina son efectivos agentes suavizantes para los almidones, mejorando la flexibilidad de las películas resultantes. Cuanto más se incluye una sustancia plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación se incrementan mientras que el esfuerzo de ruptura disminuye.

Esta afirmación de Otey tiene correspondencia con los resultados obtenidos respecto a la variable estudiada de resistencia a la tracción, puesto que al incrementar el plastificante, es decir al ir de 3% hacia 12 % de la glicerina, la resistencia mecánica del bioplástico cae de 2.57 MPa a 0.17 MPa aun cuando incrementa el espesor de película de 0.16 a 0.34 mm. La explicación a este descenso de la resistencia mecánica cuando se aumenta el porcentaje de plastificante radica en la reducción de las fuerzas intermoleculares de las moléculas poliméricas del almidón que hace más fácil la movilidad intermolecular entre sí, generando una reducción de su rigidez, de su resistencia y facilitando su capacidad de flexibilidad y deformación.

Por otro lado, la afirmación de Otey, y de otros investigadores que reportan similares conclusiones, no tiene correspondencia en cuanto a la variable de estudio deformación, puesto que los investigadores antecedentes afirman que la deformación aumenta en cuanto se incremente el nivel de plastificante, pero en esta investigación los resultados son contrarios a lo afirmado anteriormente, dado que según lo podemos evidenciar en la Fig. N° 24, al incrementar el nivel de plastificante, la deformación suele disminuir, y esto podría explicarse por causa de una mayor probabilidad de presentar defectos superficiales en mayor proporción en porcentajes mayores de plastificante, lo que hace más viscosa la

suspensión de almidón y la agitación durante la etapa de mezclado y la operación de vertido incorporan con mayor facilidad burbujas pequeñas las que suelen ser más difícil de eliminar quedando incorporadas estos defectos significativamente y que restringen la capacidad del material para extenderse y deformarse como debe ser. Lo afirmado anteriormente tiene relación con las imágenes de estereoscopia que se muestra en la Fig. N°20.

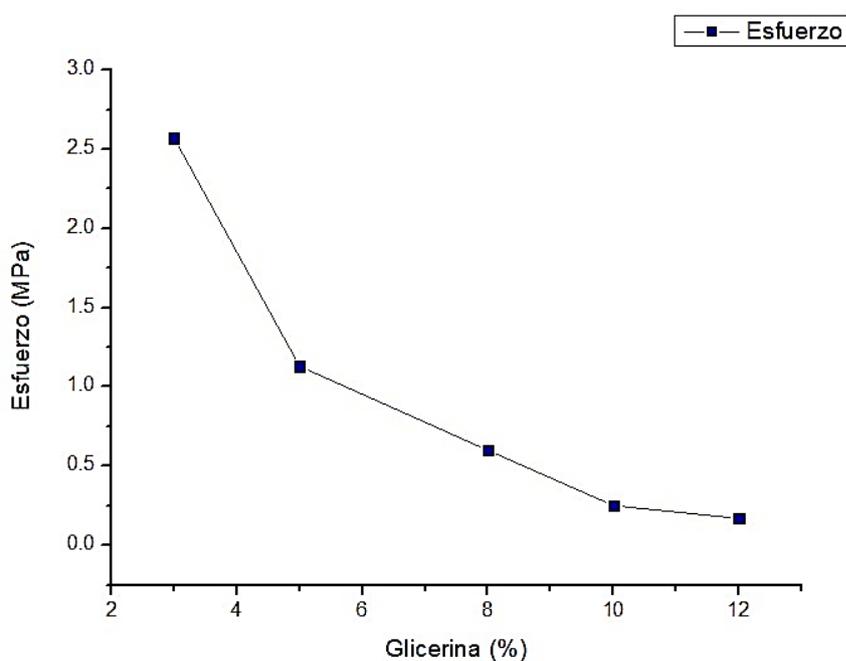


Figura N° 23: Gráfico de Esfuerzo máximo (MPa) vs % de Glicerina.

Según la Figura N° 24 se obtuvo como esfuerzo máximo 2.57 MPa y una elongación máxima de 44.76 % para el nivel de 3% de plastificante, estos resultados fueron mayores a los obtenidos por Meza Ramos, (2016) que obtuvo como esfuerzo máximo 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99%. Pero el resultado de resistencia mecánica obtenido en esta investigación es menor al obtenido por Torres, (2011) quien obtuvo un esfuerzo máximo de 3.22 MPa aunque con una menor elongación máxima de 24.18% para papa de la variedad Yungay mientras que Arroyo y Alarcón (2013) obtuvieron un esfuerzo máximo de 4.25 MPa y una elongación máxima de 42.49% para su experiencia.

Si bien las tres experiencias tuvieron distintas condiciones, todas fueron elaboradas a partir de almidón de papa Yungay. Las diferencias en las características mecánicas

pueden estar explicadas por la calidad y tipo de almidón que se tomó como materia prima para la elaboración del bioplástico. Ya que en esta investigación se utilizó almidón con un grado mayor de impurezas mientras que Torres (2011) y Arroyo y Alarcón (2013) utilizaron un almidón con menos grado de impurezas ya que es aquel que es apto para el consumo humano.

Otro factor importante son los aditivos utilizados para elaborar el bioplástico, Torres (2011) utilizó un ácido fuerte (HCl) que pudo haber propiciado un mayor grado de hidrólisis en el almidón logrando una mejor polimerización; mientras que Arroyo y Alarcón (2013) utilizaron ácido polivinílico que es un polímero sintético, hidroxietilcelulosa es un aditivo que cumple el papel de extensor, cloruro de sodio y el ácido bórico mejora la resistencia al esfuerzo cortante, la glicerina y el agua destilada que son plastificantes y el etanol para diluir bien la mezcla (Arroyo y Alarcón, 2013).

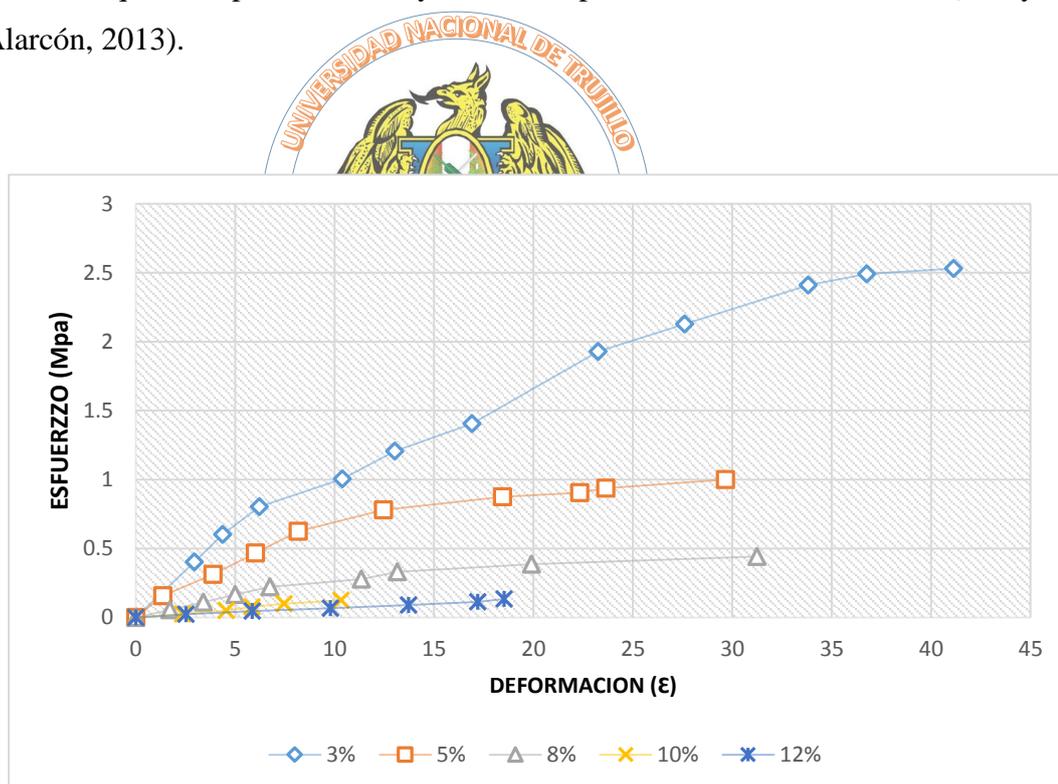


Figura N° 24: Grafico de Esfuerzo Máximo (Mpa) vs. % Deformación (ε)
Máximo

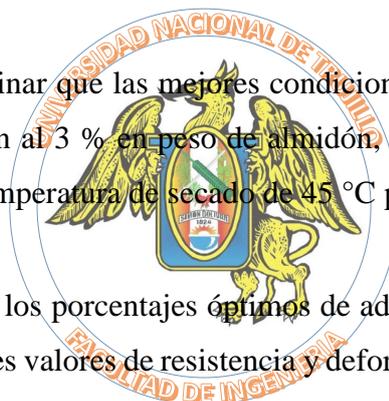


CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES:

- Se determinó que el aumento del porcentaje en peso del plastificante glicerina, influye de manera negativa en la resistencia máxima a la tracción, así como también el porcentaje de deformación de los bioplásticos a base de almidón de papa. Es por ello que obtuvimos como resultado que para el 12 % de glicerina se obtuvo una resistencia a la tracción de 0.17 Mpa con un porcentaje de deformación de 13.37%.
- Se determinó la resistencia mecánica y deformación en tracción de bioplásticos obtenidos a diferentes niveles de porcentaje en peso de glicerina, siendo la máxima de 2.57 Mpa para un 3% de glicerina y la mínima de 0.17 MPa para el 12% del mismo. En cuanto a deformación se alcanzó a 44.76 % de deformación al 3% de glicerina y a 13.37 % a un 12% de glicerina.
- Se llegó a determinar que las mejores condiciones del proceso de elaboración del bioplástico, fueron al 3 % en peso de almidón, una temperatura de gelatinización de 70 °C y una temperatura de secado de 45 °C por 24 horas.
- Se determinó que los porcentajes óptimos de adición de glicerina que permitieron obtener los mejores valores de resistencia y deformación en tracción, fueron los que contienen 3 y 5 % de glicerina, ya que podemos obtener una mejor resistencia y una deformación aceptable.
- Se comprobó que la presencia de defectos fue en mayor probabilidad en el bioplástico con mayor % de plastificante glicerina, lo que causó la reducción del porcentaje de elongación.



5.2. RECOMENDACIONES:

A fin de seguir líneas de investigación en base a polímeros podemos recomendar:

- Realizar estudios sobre las mezclas de variedades de papa y tubérculos para obtener un almidón de excelentes propiedades funcionales como una buena resistencia a la tracción y un alto porcentaje de elongación.
- Obtener bioplástico utilizando almidón modificado y reforzado para conseguir obtener bioplásticos con mejores propiedades mecánicas.
- Realizar investigaciones para determinar la biodegradabilidad del bioplástico a base de almidón de papa nativo y/o modificado.
- Experimentar la preparación del bioplástico agregando el ácido clorhídrico durante la gelatinización.
- Para continuar con esta investigación se recomienda también que durante el proceso de gelatinización controlar la temperatura de la mezcla y del medio en donde se coloca el vaso de precipitación para evitar un proceso demasiado rápido de gelatinización.





CAPÍTULO VI
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

The logo of the Universidad Nacional de Trujillo is circular, featuring a central shield with a sun, a river, and a mountain. The shield is flanked by two golden eagles. The text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO' is written in a semi-circle above the shield, and 'FACULTAD DE INGENIERÍA' is written in a semi-circle below it.

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón Cavero, Hugo A. & Arroyo Benites, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Rev. Soc. Química del Perú*, vol.82 (N°3).

Álzate Carvajal, Erika N.& Quintero Castaño, Víctor D. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*Erythrina Edulis Triana Ex Micheli*). *Rev. Temas Agrarios*.Vol.18 (N°2)

Aparicio, A. (2007). Obtención de almidón resistente por tratamiento en autoclave a partir de almidón de plátano modificado: caracterización fisicoquímica, morfológica y estructural.

Recuperado de : <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1965/Soto%20Izarra%20-%20Yantas%20Huaynate.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ASTM D 638. Standard test method for tensil properties of plastics. 2010.

Barrios Mindiola, R, Tejada Benítez, L & Villabona Ortiz, A. (2007). Aprovechamiento del ñame espino (*dioscorea rotundata*) en la producción de bioplástico.

Recuperado de : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250973012>

Bastos Vega, JA. 2009. Diseño y construcción de un prototipo de una máquina peladora de papas. Tesis Ing. Mec. Bucaramanga, CO. Universidad Industrial de Santander. 1, 11, 29 p.

Recuperadode:<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1429/1/Tesis%20I.%20M.%20103%20-%20Pinos%20Sol%20C3%20ADs%20.pdf>

Batuani Larrea, R. (2015). Estudio de la obtención de plásticos biodegradables a partir del almidón de la papa por adición de agentes plastificantes. (Tesis de Grado). Universidad Mayor de San Andrés.

Benavides Rodríguez, Luis & Sibaja Ballester, María. (2010). Estudio cinético de la degradación térmica de quitina y quitosano de camarón de la especie “*Heterocarpus Vicarius*” empleando la técnica termogravimétrica en modo dinámico. Recuperado de : <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC10/benavides.pdf>

Borba, N. (2008). La papa un alimento básico. Posibles impactos frente a la introducción de papa transgénica. *Boletín electrónico de la Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL)*. p.,26. 11.

Bradshaw, J. E. & Ramsay G. (2009). Potato Origin and Production. In: Singh, J. and Kaur L. *Advances in Potato Chemistry and Technology*. pg. (1-26). USA.

Brindis, Eleno Alfonso. (2006). Propiedades básicas de los polímeros. *Capítulo II: Materiales plásticos*. (pg. 36). Madrid –España.

Castillo, A & Iñiguez, A. (2011). Obtención del ácido láctico a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum L.*) como materia prima para la fabricación de material descartable biodegradable. Tesis Ing. Amb. Universidad Politécnica Salesiana: Sede Cuenca. (pg.61-62). Cuenca, Ecuador.

CIT (Centro de Información Técnica). (2009). Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU. *Plastivida, AR*. 8 p. *Boletín Técnico Informativo* (N°25).

CSIC, C. S. (2003). *Prácticas Análisis Térmico por DSC*. Madrid: CSIC

Congreso ALAP (Asociación Latinoamericana de la Papa). Cambios y perspectivas del comercio de la papa en el Perú (en línea). Ed. M. Ordinola. Lima, PE. Recuperado de:<https://consumoymercadodepapa.wordpress.com/cambios-y-perspectivas-del-comercio-de-la-papa-en-el-per/>

Cuevas Carballo, Zujey B. (2017). Obtención y caracterización de almidones termoplásticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliésteres

biodegradables. (Tesis de Posgrado). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Posgrado en Materiales Polímeros, Yucatán – México.

Charro Espinosa, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. (Tesis de Grado). Universidad Central del Ecuador.

Engel, F. A. Explorations of the Chilca Canyon, Peru. *Current Anthropol.* 1970. 11: 5558.

Estrada Mora, H. 2012. Bioplástico, plásticos compostables y oxodegradables: la realidad sobre la biodegradabilidad de los envases plásticos. *Informe temático* (N° 03) (pg27). Lima, PE.

FAO (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Año Internacional de la papa del 2008. Consultado: 3 de Abril 2019. Disponible en : <http://www.fao.org/3/a-i0100s.pdf>

García Quiñónez, a. (2015). “Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz”. (Informe Final de Investigación). Escuela especializada en ingeniería ITCA – Fepade.

Guede, Francisco & Caamaño, Juan. (2006). Introducción al comportamiento mecánico de los materiales. 2006. p. 3-4.

Hawkes, J. G. (1990). The potato evolution biodiversity and genetic resources. Belhaven Press. (pag.259), London - UK.

Liu, H. Xie, F. Yu, L. & Chen, L. (2009). Thermal processing of starch-based polymers. 2009. *Progress in Polymer Science* (N°34), (pag.1348–1368).

Maldonado, L.; Suárez, V. y Thiele, G. (2008). Estudio de la adopción de variedades de papa en zonas pobres del Perú. CIP (Centro Internacional de la Papa) (N° 20082:1-64)

Martínez Gallegos, J.F. (2005). Utilización de α -amilasas en la formulación de detergentes industriales. (Tesis) Universidad de Granada, España.

Martínez Pajuelo, Sergio L. (2015). Desarrollo y caracterización mecánica, térmica y estructural de nanocompuestos de almidón reforzados con nanopartículas de almidón. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima - Perú.

Melian Subiabre, D.E. (2013). Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales. (Tesis posgrado). Valdivia, CL. Universidad Austral de Chile.

Meré Marcos, J. (2009). Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid - España.

Meza Ramos, Paola. (2016). “Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio”. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria la Molina.



MINAG (Ministerio de Medio Ambiente, PE); OEE (Oficina de estudios económicos y estadísticos, PE). 2011. *La papa nuestra de cada día*. (pag.12). Lima - Perú.

MINAGRI (Ministerio de Medio Ambiente, PE); OEE (Oficina de estudios económicos y estadísticos, PE). 2011. *La papa nuestra de cada día*. (pag.12). Lima-Perú.

Moreno Bustillos, Humarán Sarmiento & León Villanueva (2017). Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente. Consultado 10 de Abril 2019. Disponible en : <http://www.redalyc.org/pdf/461/46154070021.pdf>

Morey Serra, Iris.(2015). Films bicapa de almidón – policaprolactona con potencial efecto bioactivo obtenidos mediante moldeo por compresión. (Maestría). Universidad Politécnica Valencia. Valencia – España.

Puello Méndez, J. (2012). Evolución del Comportamiento Viscoelástico de Fracciones Pesadas del Petróleo Sometidas a Envejecimiento Acelerado. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga

REMAR (Red Energía y Medio Ambiente, ES). (2011). Bioplástico: Certificación y normativa. 5 p. (Guía práctica N°. 2).

Reynaldo Ponce Almeri. (2013). Caracterización molecular de las variedades de papas cultivadas (*Solanum spp.*) más importantes del Perú mediante el uso de microsátélites. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima - Perú.

Rodríguez Sandoval, E. Sandoval Aldana, a. & Fernández Quintero, A. (2007). Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Revista Colombiana de Química* Vol. 36 (N° 1)



Rodríguez Sandoval P., Camargo Silva S. & Cruz Villagrán I. (2010). Evaluación de las propiedades mecánicas de un bioplástico a partir de polietileno de baja densidad y almidón de papa. SENA - Centro de Materiales y Ensayos. (pag.2-9). Bogotá – Colombia.

Ruiz Avilés, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca. *Ingeniería y Ciencia* 2 (pág. 5-28)

Soto Izarra, Rubén d. Yantas Huaynate, Pilar E. (2012). Evaluación de la calidad del almidón obtenido de tres variedades de papa (*solanum tuberosum*) cultivadas en la provincia de jauja. (Tesis de prepag). Universidad Nacional del Centro del Perú. Tarma – Perú.

Tian, Y., Lib, Y., Xua, X. & Jin, Z. (2011). Starch retrogradation studied by thermogravimetric analysis (TGA). Carbohydrate Polymers, 1165-1168. 2011

Tovar Benítez, T. (2008). Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos del aislamiento (en línea). (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo - México.

Van Soest. (1996). Bioplastic, Ind. Crops and Prod. Vol. 5, (N°1), (pag. 11-22).

Woolfe, J. A. (1987). The Potato in the Human Diet. (pag.231) Cambridge University Press. UK.





ANEXO I: ANÁLISIS DE VARIANZA

- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:**

Tabla A .1. Resultados de resistencia máxima a la tracción

Presión de infiltración	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN						
	1	2	3	4	5	Sumatoria	Promedio
3	2.27	2.48	2.2	2.57	2.53	12.05	2.41
5	0.84	0.99	0.82	0.86	1.13	4.64	0.928
8	0.6	0.4	0.32	0.32	0.44	2.08	0.416
10	0.12	0.25	0.17	0.19	0.12	0.85	0.17
12	0.13	0.07	0.04	0.1	0.17	0.51	0.102



- Grados de Libertad:

- Grados de Libertad del error:

$$(a) \times (n - 1)$$

$$(5) \times (5 - 1) = 20$$

- Cálculo del Termino de corrección:

$$c = \frac{(\sum Y_i)^2}{N}$$

$$c = \frac{(2.27 + 2.48 + \dots + 0.17)^2}{25}$$

$$c = 16.21$$

- Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST):

$$SST = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 Y_{ij}^2 - C$$

$$SST = [(2.27^2 + 2.48^2 + \dots + 0.17^2)] - 16.21$$

$$SST = 18.67$$

- Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SS_{Trat}):

$$SS_{Trat} = \frac{\sum_{i=1}^3 Y_i^2}{n} - C$$

$$SS_{Trat} = \frac{(12.05^2 + 4.64^2 + 2.08^2 + 0.85^2 + 0.51^2)}{5} - 16.21$$

$$SS_{Trat} = 18.20$$

- Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SSE):

$$SSE = SST - SS_{Trat}$$

$$SSE = 18.67 - 18.20$$

$$SSE = 0.47$$

- Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MS_{Trat}):

$$MS_{Trat} = \frac{SS_{Trat}}{a - 1}$$

$$MS_{Trat} = \frac{18.20}{4}$$

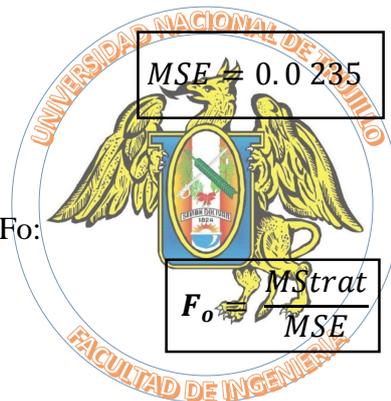
$$MS_{Trat} = 4.55$$

- Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a error (MSE):

$$MSE = \frac{SSE}{N - a}$$

$$MSE = \frac{0.47}{25 - 5}$$

- Cálculo de la función Fo:



$$F_o = \frac{4.55}{0.023}$$

$$F_o = 189.583$$

Tabla A.2: Tabla ANAVA al 95 % de resistencia máxima a la Tracción.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de cuadros	F_o	F_{tabla}
Resistencia	4	18.67	4.55	189.58	2.87
Error	20	18.20	0.024		
Total	24	36.87			

• **DEFORMACION:**

Tabla A.3: Resultados de la deformación

% Glicerina	DEFORMACIÓN					Sumatoria	Promedio
	1	2	3	4	5		
3	0.35	0.34	0.36	0.44	0.41	1.9	0.38
5	0.19	0.30	0.28	0.20	0.35	1.32	0.264
8	0.32	0.22	0.27	0.26	0.31	1.38	0.276
10	0.09	0.24	0.11	0.10	0.10	0.64	0.128
12	0.18	0.12	0.92	0.11	0.13	1.46	0.292

• Grados de Libertad:

$$a = 5$$

$$n = 5$$

• Grados de Libertad del error:

$$(a) \times (n - 1)$$

$$(5) \times (5 - 1) = 20$$

- Cálculo del Termino de corrección:

$$c = \frac{(\sum Y_i)^2}{N}$$

$$c = \frac{(0.35 + 0.34 + \dots + 0.13)^2}{25}$$

$$c = 1.796$$

- Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST):

$$SST = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 Y_{ij}^2 - C$$

$$SST = [(0.35^2 + 0.34^2 + \dots + 0.13^2)] - 1.796$$

$$SST = 0.708$$

- Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SS_{Trat}):

$$SS_{Trat} = \frac{\sum_{i=1}^3 Y_i^2}{n} - C$$

$$SS_{Trat} = \frac{(1.9^2 + 1.32^2 + 1.38^2 + 0.64^2 + 1.46^2)}{5} - 1.796$$

$$SS_{Trat} = 0.164$$

- Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SSE):

$$SSE = SST - SSTRAT$$

$$SSE = 0.708 - 0.164$$

$$SSE = 0.544$$

- Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MS_{trat}):

$$MS_{Trat} = \frac{SS_{Trat}}{a - 1}$$



$$MS_{Trat} = \frac{0.164}{4}$$

$$MS_{Trat} = 0.041$$

- Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a error (MSE):

$$MSE = \frac{SSE}{N - a}$$

$$MSE = \frac{0.544}{20}$$

$$MSE = 0.027$$

- Cálculo de la función F_o :

$$F_o = \frac{MS_{trat}}{MSE}$$

$$F_o = \frac{0.041}{0.027}$$

$$F_o = 1.519$$

Tabla A.4: Tabla ANAVA al 95 % de deformación.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de cuadros	F_o	F_{tabla}
Resistencia	4	0.708	0.041	1.519	2.87
Error	20	0.164	0.027		
Total	24	0.872			

Decisión:

Para un nivel de significancia del 5 %, se observa que el $F_o = 189.58$ obtenido experimentalmente para los datos de resistencia máxima a la tracción, es mayor que el $F_{0.05, 4, 20} = 2.87$, obtenido de manera tabular, rechazando de este modo la hipótesis nula. Esto indica que es improbable que las medias sean iguales; por lo tanto, el 3, 5, 8,10 y 12 % de glicerina afecta significativamente a la resistencia máxima a la tracción.

Para un nivel de significancia del 5 %, se observa que el $F_o = 1.519$ obtenido experimentalmente para los datos de deformación, es menor que el $F_{0.05, 4, 20} = 2.87$, obtenido de manera tabular, aceptando de este modo la hipótesis nula. Esto indica que es probable que las medias sean iguales; por lo tanto, el % de glicerina no afecta significativamente a la deformación.



ANEXO II: ANÁLISIS TÉRMICO DE LOS BIOPLÁSTICOS

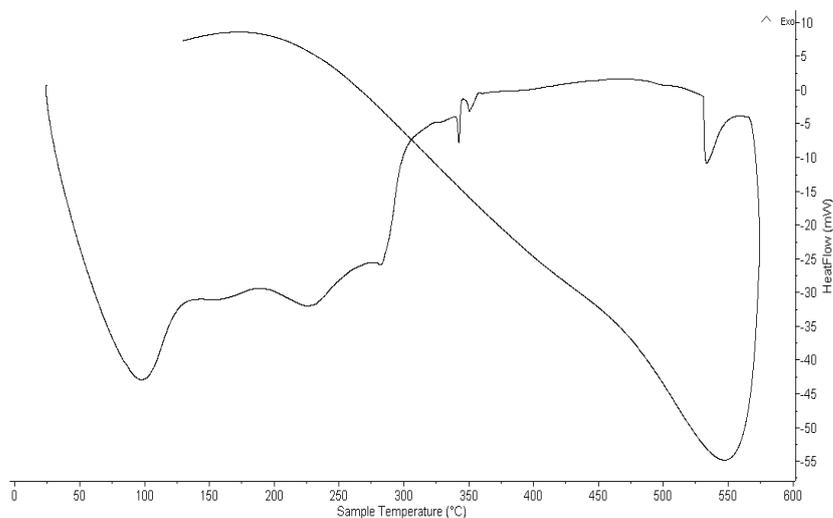


Figura N° 25: Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.

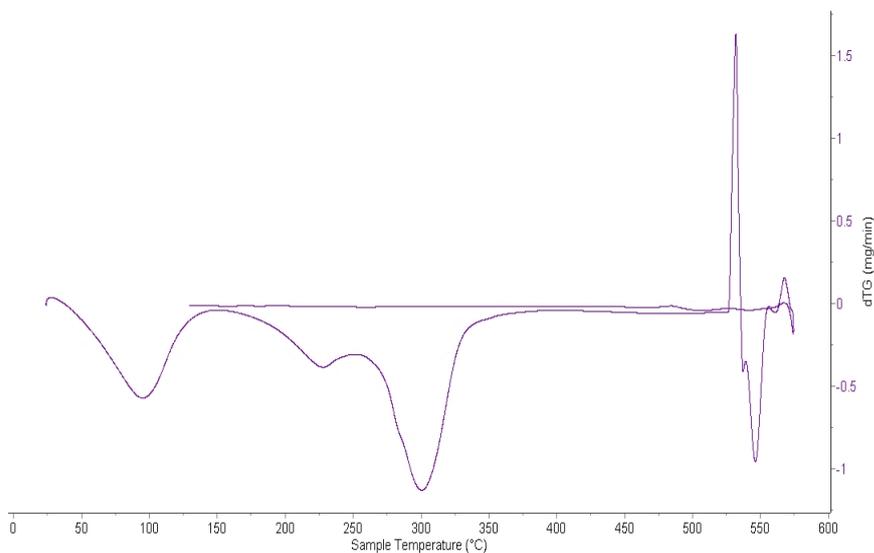


Figura N° 26: Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.

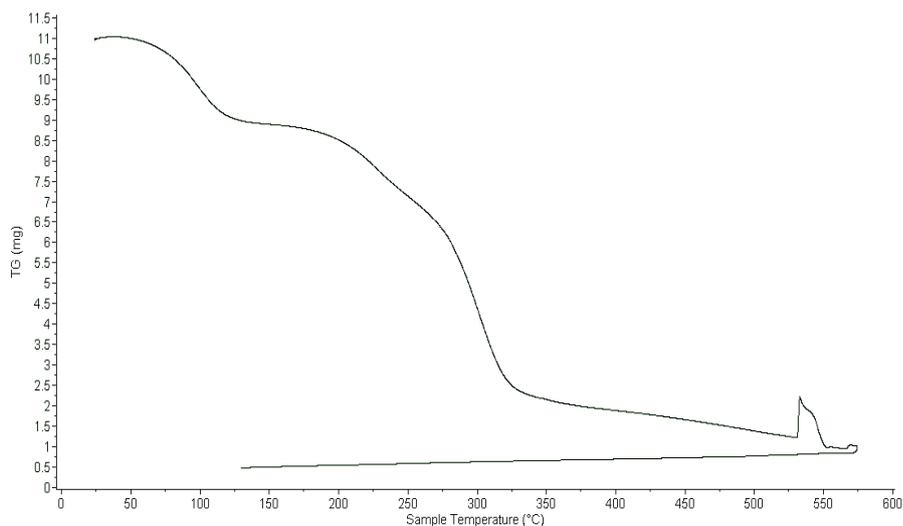


Figura N° 27: Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 3% de glicerina.

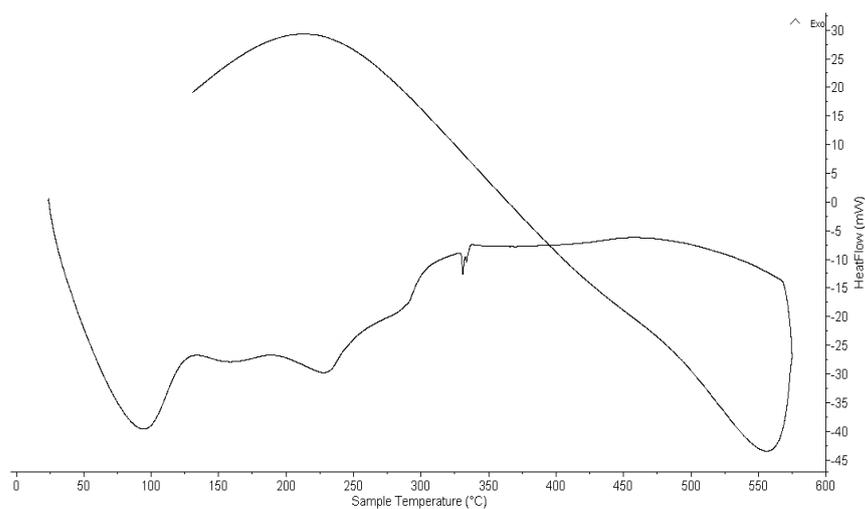


Figura N° 28: Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 5 % de glicerina.

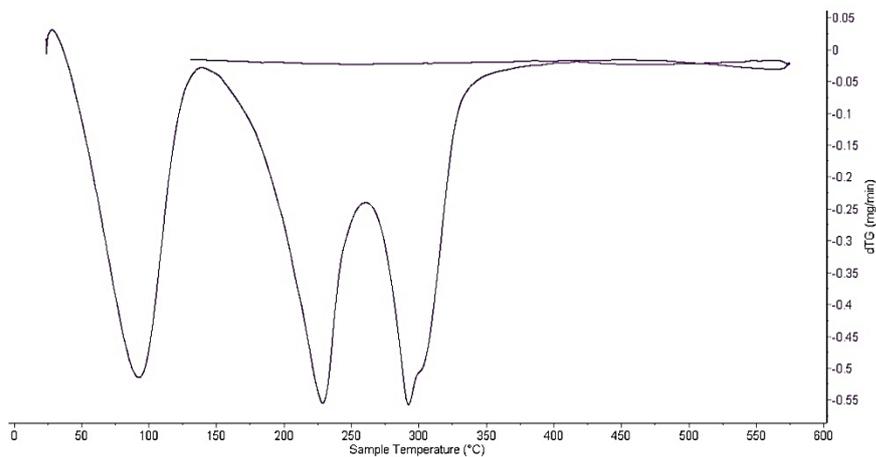


Figura N° 29: Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 5 % de glicerina.

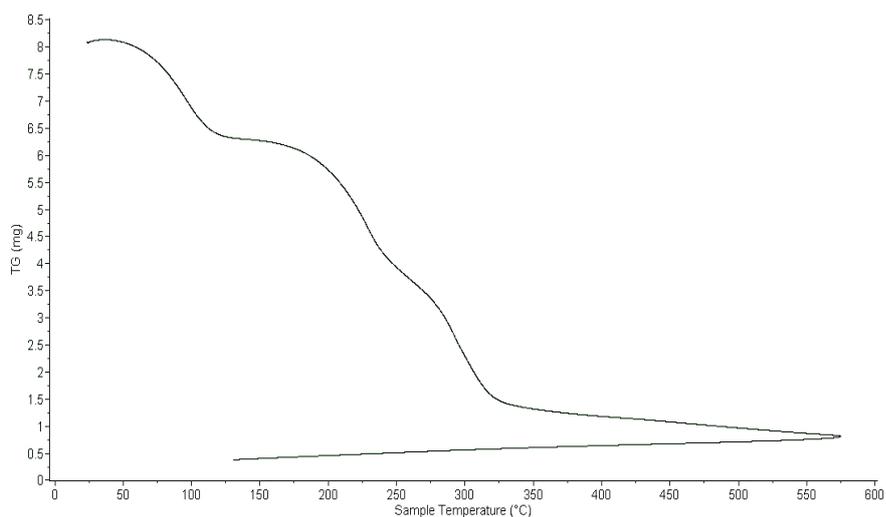


Figura N° 30: Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 5 % de glicerina.

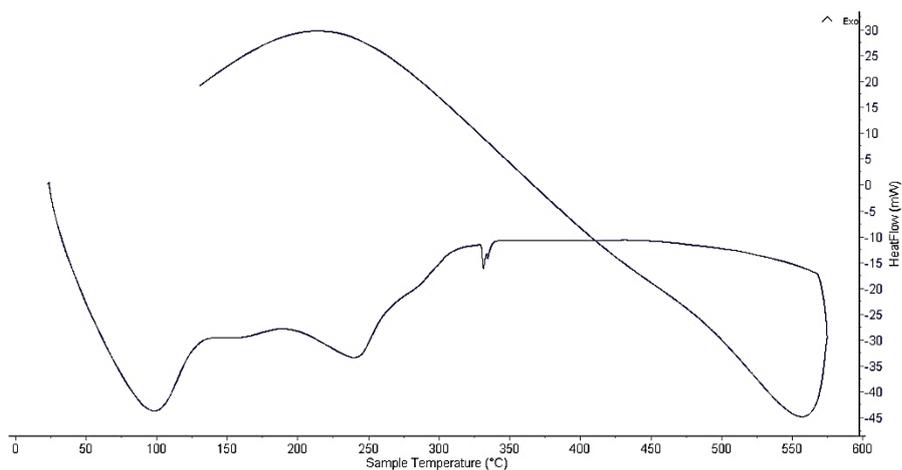


Figura N° 31: Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 8 % de glicerina.

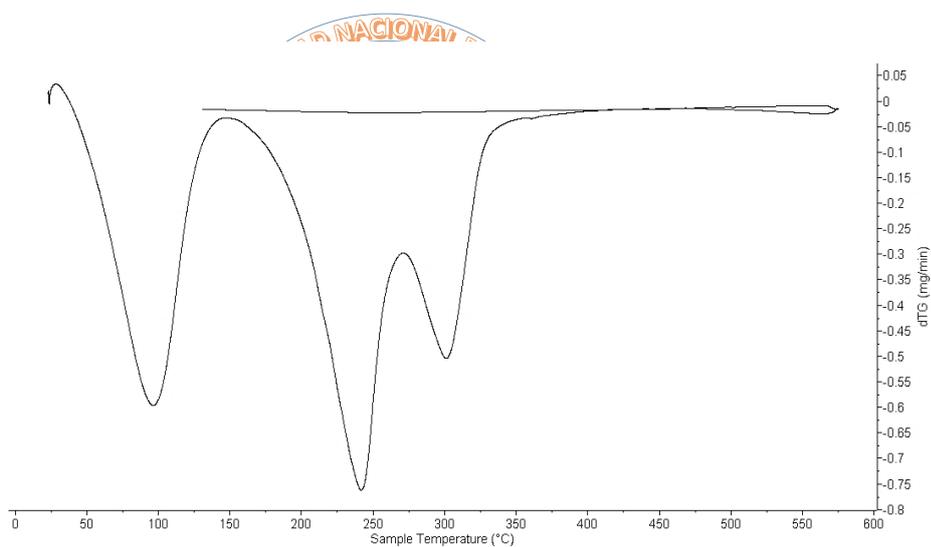


Figura N° 32: Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 8 % de glicerina.

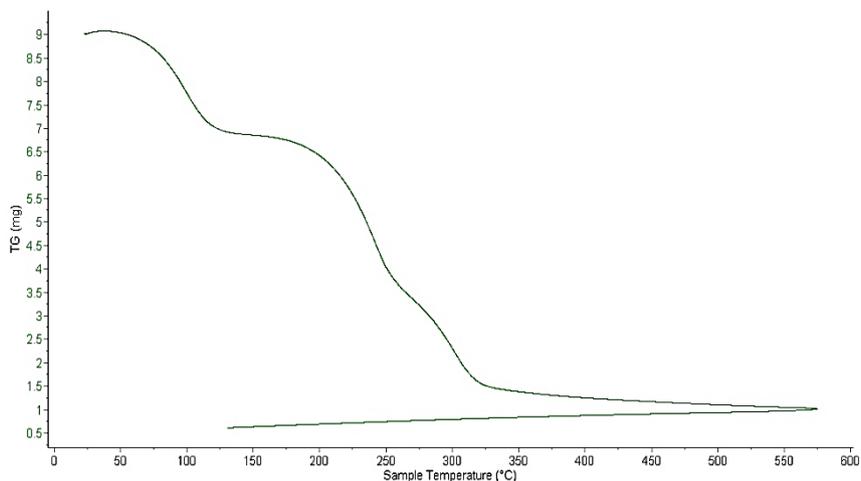


Figura N° 33: Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 8 % de glicerina.

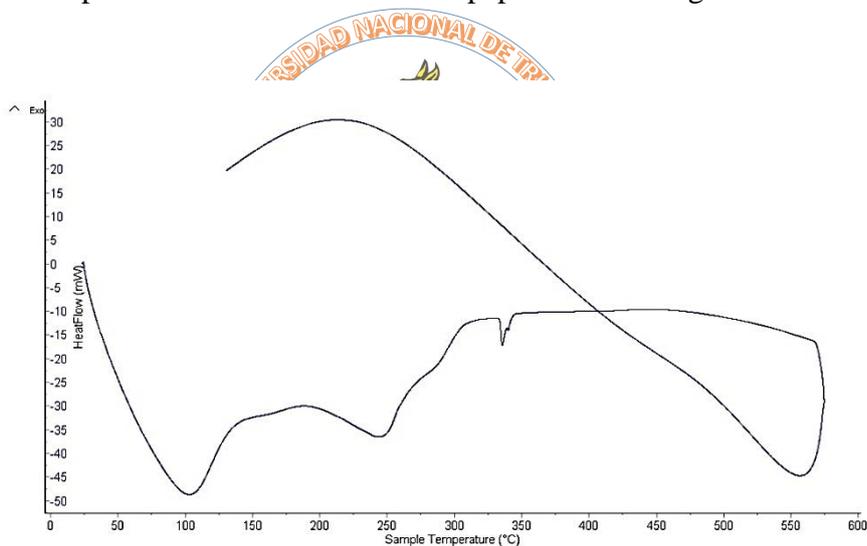


Figura N° 34: Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 10 % de glicerina.

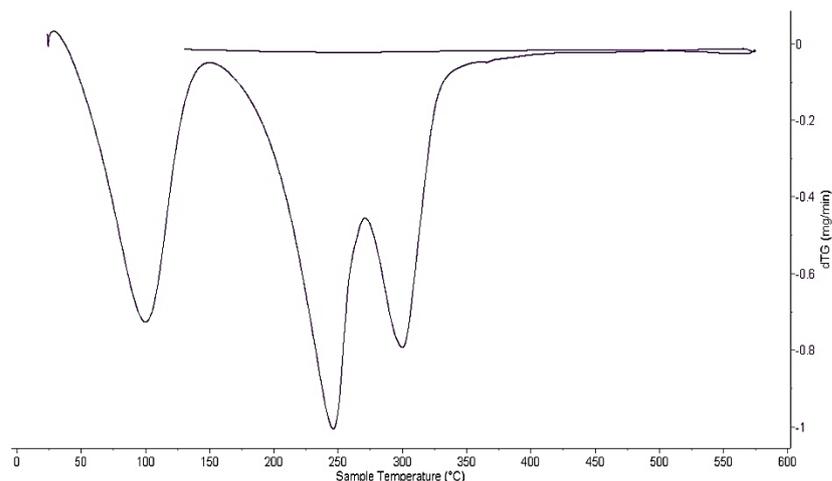


Figura N° 35: Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 10 % de glicerina.

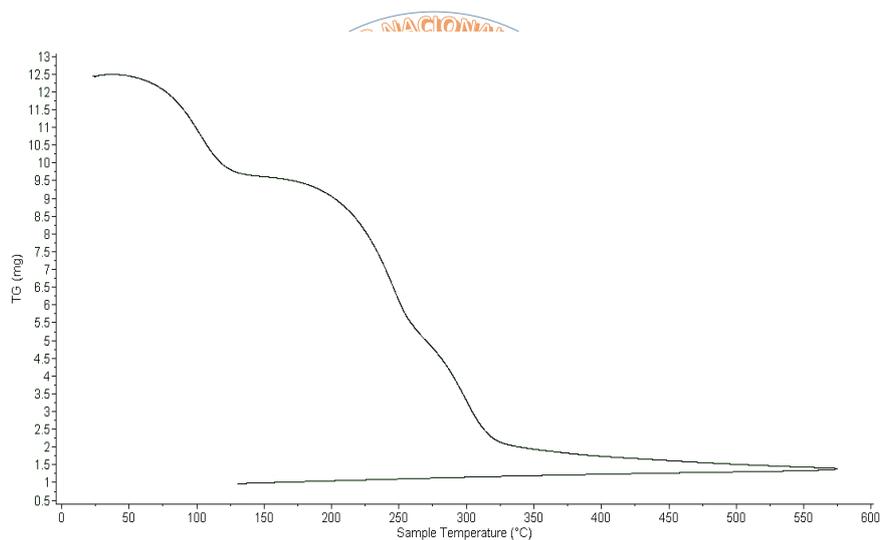


Figura N° 36: Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 10 % de glicerina.

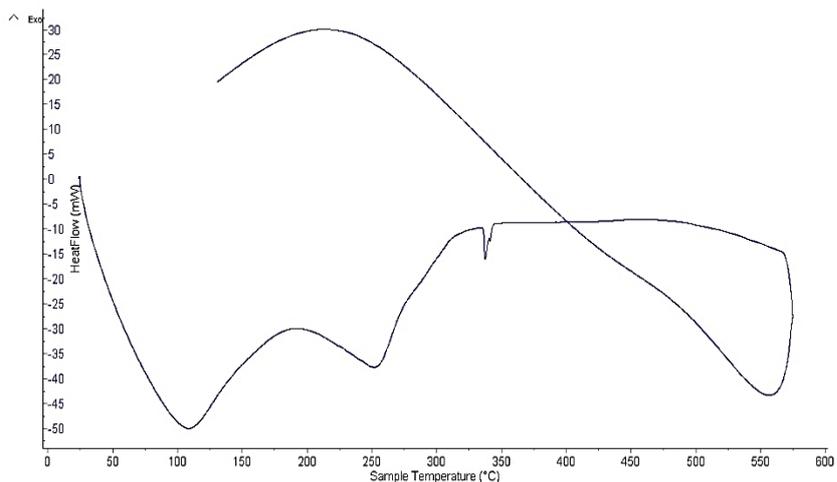


Figura N° 37: Gráfico de DSC obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 12 % de glicerina.

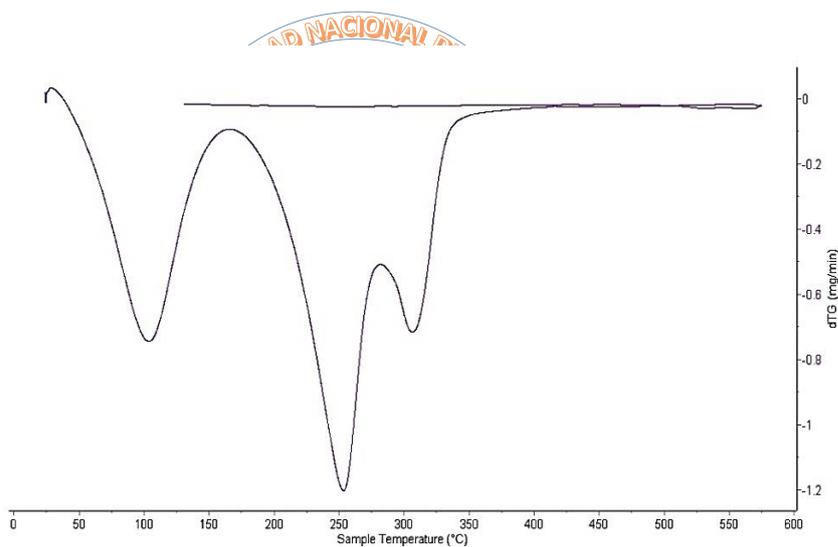


Figura N° 38: Gráfico de DTG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 12 % de glicerina.

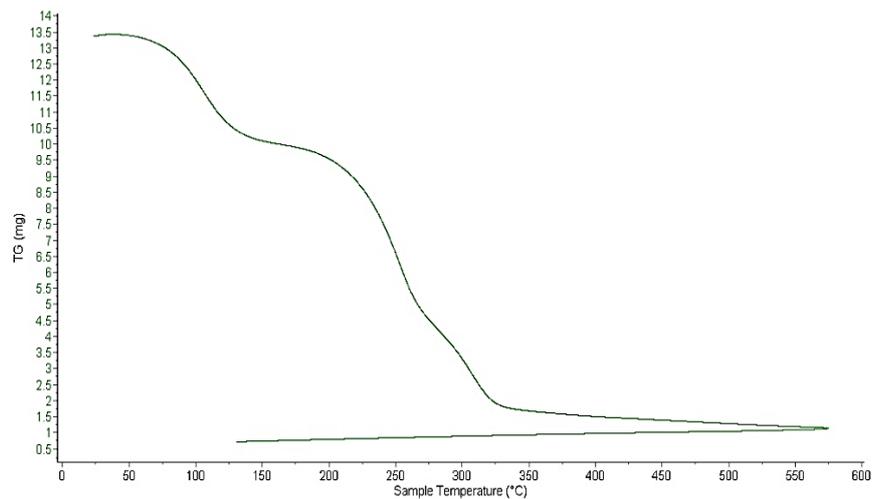


Figura N° 39: Gráfico de TG obtenido del analizador térmico SETARAM para muestra de bioplástico a base de almidón de papa con 12 % de glicerina.



ANEXO III. MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOPLÁSTICOS**Tabla N° 13:** Medidas de las características de las probetas a base de almidón de *Solanum tuberosum* para cada porcentaje de glicerina.

	Cod.	Largo (mm)	LARGO PROMEDIO (mm)	Ancho (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)	Espesor (mm)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	AREA (mm ²)
3%	a₁₁	100.09	100.10	15.2	15.21	0.18	0.17	2.59
		100.14		15.22		0.17		
		100.06		15.22		0.17		
	a₁₂	100.31	100.33	15.26	15.29	0.17	0.16	2.45
		100.31		15.26		0.16		
		100.36		15.36		0.16		
	a₁₃	102.91	102.6	15.37	15.35	0.17	0.18	2.76
		102.2		15.37		0.18		
		102.69		15.32		0.18		
	a₁₄	102.05	102.48	15.25	15.25	0.16	0.16	2.44
		102.72		15.25		0.16		
		102.68		15.24		0.15		
	a₁₅	102.32	102.26	15.28	15.27	0.16	0.16	2.44
		102.31		15.27		0.16		
		102.15		15.26		0.15		
5%	a₂₁	101.31	101.54	15.32	15.35	0.22	0.22	3.38
		101.82		15.36		0.23		
		101.48		15.36		0.22		
	a₂₂	102.72	102.65	15.78	15.71	0.2	0.20	3.14
		102.48		15.68		0.2		
		102.75		15.68		0.21		
	a₂₃	102.71	102.70	15.52	15.6	0.24	0.23	3.59
		102.72		15.63		0.22		
		102.66		15.65		0.23		
	a₂₄	102.47	102.45	15.9	15.89	0.2	0.20	3.18
		102.57		15.88		0.2		
		102.3		15.9		0.21		
	a₂₅	101.61	101.51	15.48	15.49	0.2	0.19	2.94
		101.54		15.47		0.18		
		101.37		15.52		0.2		
8%	a₃₁	102.65	102.59	15.48	15.48	0.19	0.19	2.94
		102.61		15.48		0.19		
		102.51		15.47		0.18		
	a₃₂	102.47	102.44	15.57	15.56	0.2	0.22	3.42
		102.39		15.54		0.24		
		102.47		15.57		0.22		
	a₃₃	101.56	101.54	15.8	15.78	0.26	0.27	4.26
		101.52		15.77		0.28		
		101.53		15.78		0.27		
	a₃₄	101.5	101.49	15.38	15.37	0.23	0.24	3.69
		101.48		15.36		0.25		
		101.48		15.38		0.23		

	a ₃₅	102.61	102.68	15.41	15.45	0.23	0.23	3.55
		102.72		15.49		0.24		
		102.72		15.45		0.23		
10%	a ₄₁	101.72	101.69	15.08	15.08	0.32	0.27	4.07
		101.68		15.09		0.22		
		101.68		15.08		0.28		
	a ₄₂	101.74	101.75	15.42	15.43	0.32	0.31	4.78
		101.77		15.41		0.28		
		101.75		15.46		0.32		
	a ₄₃	101.68	101.67	15.24	15.27	0.24	0.23	3.51
		101.66		15.27		0.22		
		101.68		15.29		0.22		
	a ₄₄	102.71	102.7	15.06	15.08	0.22	0.21	3.17
		102.69		15.08		0.2		
		102.7		15.1		0.2		
	a ₄₅	102.47	102.48	15.78	15.73	0.27	0.25	3.93
		102.47		15.69		0.25		
		102.49		15.72		0.23		
12%	a ₅₁	100.48	100.5	15.1	15.10	0.32	0.29	4.38
		100.51		15.09		0.28		
		100.51		15.1		0.28		
	a ₅₂	100.51	100.51	15.45	15.43	0.36	0.34	5.25
		100.51		15.39		0.36		
		100.51		15.46		0.3		
	a ₅₃	101.71	101.70	15.3	15.29	0.43	0.43	6.57
		101.7		15.29		0.43		
		101.68		15.29		0.44		
	a ₅₄	100.02	100.03	15.21	15.24	0.3	0.31	4.72
		100.02		15.26		0.32		
		100.05		15.26		0.32		
	a ₅₅	100.09	100.07	15.2	15.19	0.3	0.31	4.71
		100.06		15.18		0.31		
		100.06		15.2		0.31		

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO IV: RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN Y ELONGACIÓN**A. CON RESPECTO A LA FUERZA (Kg) VS. ELONGACIÓN (mm)****Tabla N° 14:** Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 3% de Glicerina.

3%	ELONGACIÓN (mm)				
	Probeta 1	Probeta2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
Fuerza (kg)					
0	0	0	0	0	0
0.1	1.84	1.75	1.34	0.64	2.4
0.15	3.6	3.91	2.94	1.33	3.56
0.2	5.06	6.23	4.72	2.99	5.06
0.25	6.84	8.76	6.63	4.96	8.47
0.3	8.7	12.18	8.71	7.51	10.61
0.35	10.91	13.93	11.09	10.88	13.78
0.48	19.42	17.84	15.8	17.09	18.94
0.53	23.07	19.59	18.46	19.7	22.5
0.6	27.95	23.5	21.4	24.69	27.56
0.62		27.25	29.74	30.2	29.96
0.63				31.53	33.52
0.64				36.49	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 15: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 5% de Glicerina.

5%	ELONGACIÓN (mm)				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
0	0	0	0	0	0
0.05	2.04	1.09	2.34	1.34	1.89
0.1	4.31	3.21	4.26	4.43	6.1
0.15	6.84	4.97	7.39	9.42	10.31
0.2	8.95	6.75	9.34	12.48	13.37
0.25	10.99	10.3	10.05	13.82	14.71
0.28	13.03	15.24	12.53	16.88	17.77
0.29	15.34	18.45	16.79		19.11
0.3		19.54	23.39		20.45
0.32		24.51			23.51
0.34					28.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 16: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 8% de Glicerina.

8%	ELONGACIÓN (mm)				
Fuerza (kg)	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
0	0	0	0	0	0
0.02	1.94	1.45	1.9	2.25	1.41
0.04	3.63	2.7	3.79	5.89	2.8
0.06	5.94	5.89	5.31	7.74	4.14
0.08	7.82	8.26	7.01	9.45	5.58
0.1	9.92	9.87	8.56	15.34	9.38
0.12	13.07	15.76	16.48	21.23	10.87
0.14	16.7	18.46	21.79		16.45
0.16	20.33				25.83
0.18	26.27				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 17: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 10 % de Glicerina.

10%	ELONGACIÓN (mm)				
Fuerza (kg)	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
0	0	0	0	0	0
0.01	1.91	1.9	1.91	1.91	1.94
0.02	3.01	3.01	3.01	3.01	3.75
0.03	4.03	4.7	4.79	4.7	4.82
0.04	6.48	6.04	6.01	6.18	6.15
0.05	7.87	7.43	7.98	7.8	8.51
0.06		10.48	8.03	8.27	
0.12		19.27			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 18: Resultado del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 12 % de glicerina.

12 %	ELONGACIÓN (mm)				
Fuerza (kg)	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
0	0	0	0	0	0
0.01	2.03	2.08	1.87	1.51	1.34
0.02	4.71	4.92	5.41	4.15	2.83
0.03	7.88	6.75	7.55	5.99	3.69
0.04	11.04	9.79		7.74	5.4
0.05	13.84			9.01	7.29
0.06	14.91				8.71
0.08					10.65

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO V: CON RESPECTO A LA FUERZA (Mpa) Y % DEFORMACIÓN**Tabla N° 19: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 3% de Glicerina.**

PROBETAS AL 3% DE GLICERINA									
Probeta N° 1		Probeta N°2		Probeta N° 3		Probeta N° 4		Probeta N° 5	
Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.38	2.29	0.4	2.18	0.36	1.62	0.40	0.73	0.40	2.94
0.57	4.49	0.6	4.87	0.53	3.56	0.60	1.61	0.60	4.37
0.76	6.32	0.8	7.76	0.71	5.71	0.80	3.63	0.80	6.21
0.95	8.54	1	10.91	0.89	8.03	1.00	6.02	1.00	10.39
1.14	10.86	1.2	15.09	1.07	10.54	1.20	9.11	1.20	13.02
1.32	13.62	1.4	17.34	1.24	13.43	1.401	13.2	1.41	16.91
1.82	24.24	1.92	22.21	1.70	19.13	1.93	20.73	1.93	23.24
2.01	28.81	2.12	24.39	1.88	22.35	2.13	23.13	2.13	27.6
2.27	34.9	2.4	29.26	2.13	25.91	2.41	29.95	2.41	33.81
		2.48	34.3	2.20	36	2.49	36.63	2.49	36.76
						2.53	38.25	2.53	41.12
						2.57	44.26		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 20: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 5% de glicerina.

PROBETAS AL 5% DE GLICERINA									
Probeta N° 1		Probeta N°2		Probeta N° 3		Probeta N° 4		Probeta N° 5	
Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.14	2.48	0.16	1.36	0.14	2.83	0.13	1.63	0.17	2.32
0.29	5.24	0.31	3.88	0.27	5.15	0.31	5.37	0.33	7.48
0.43	8.32	0.47	6.01	0.41	8.94	0.46	11.43	0.5	12.65
0.58	10.88	0.62	8.17	0.55	11.29	0.62	15.14	0.67	16.37
0.72	13.36	0.78	12.46	0.68	12.15	0.77	16.76	0.83	18.05
0.81	15.84	0.87	18.44	0.76	15.15	0.86	20.47	0.93	21.8
0.84	18.65	0.91	22.32	0.79	20.3			0.97	23.44
		0.94	23.64	0.82	28.29			1	25.09
		0.99	29.66					1.07	28.84
								1.13	34.97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 21: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 8% de glicerina.

PROBETAS AL 8% DE GLICERINA									
Probeta N° 1		Probeta N°2		Probeta N° 3		Probeta N° 4		Probeta N° 5	
Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación
(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.07	2.35	0.057	1.76	0.05	2.33	0.05	2.76	0.06	1.71
0.13	4.39	0.11	3.28	0.09	4.65	0.11	7.23	0.11	3.39
0.2	7.19	0.17	7.14	0.14	6.51	0.16	9.49	0.17	5
0.27	9.47	0.23	10.02	0.18	8.6	0.21	11.59	0.22	6.75
0.33	12.01	0.29	11.97	0.23	10.5	0.27	18.82	0.28	11.34
0.4	15.83	0.34	19.12	0.28	20.22	0.32	26.05	0.33	13.15
0.47	20.22	0.40	22.39	0.32	26.74			0.39	19.89
0.53	24.62							0.44	31.24
0.6	31.8								

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 22: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 10 % de glicerina.

PROBETAS AL 10% DE GLICERINA									
Probeta N° 1		Probeta N°2		Probeta N° 3		Probeta N° 4		Probeta N° 5	
Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación
(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.02	2.34	0.02	2.32	0.028	2.17	0.03	3.31	0.02	2.35
0.05	3.69	0.04	3.68	0.056	3.69	0.06	3.64	0.05	4.55
0.07	4.94	0.06	5.75	0.08	5.87	0.09	5.68	0.07	5.84
0.10	7.94	0.08	7.39	0.11	7.36	0.12	7.47	0.10	7.46
0.12	9.64	0.10	9.09	0.14	9.8	0.15	9.43	0.12	10.32
		0.12	12.82	0.17	10.87	0.19	10		
		0.25	23.69						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 23: Resultados del ensayo de Tracción y Elongación para probetas de 12 % de glicerina.

Probetas al 12 % de Glicerina

Probeta N° 1		Probeta N°2		Probeta N° 3		Probeta N° 4		Probeta N° 5	
Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación
(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.02	2.52	0.02	2.58	0.01	2.29	0.02	1.88	0.02	1.66
0.04	5.85	0.04	6.11	0.03	6.62	0.04	5.17	0.04	3.51
0.07	9.79	0.06	8.38	0.04	9.24	0.06	7.46	0.06	4.57
0.09	13.71	0.07	12.16			0.08	9.64	0.08	6.69
0.11	17.19					0.10	11.22	0.10	9.03
0.13	18.52							0.12	10.79
								0.17	13.37

Fuente: Elaboración propia.

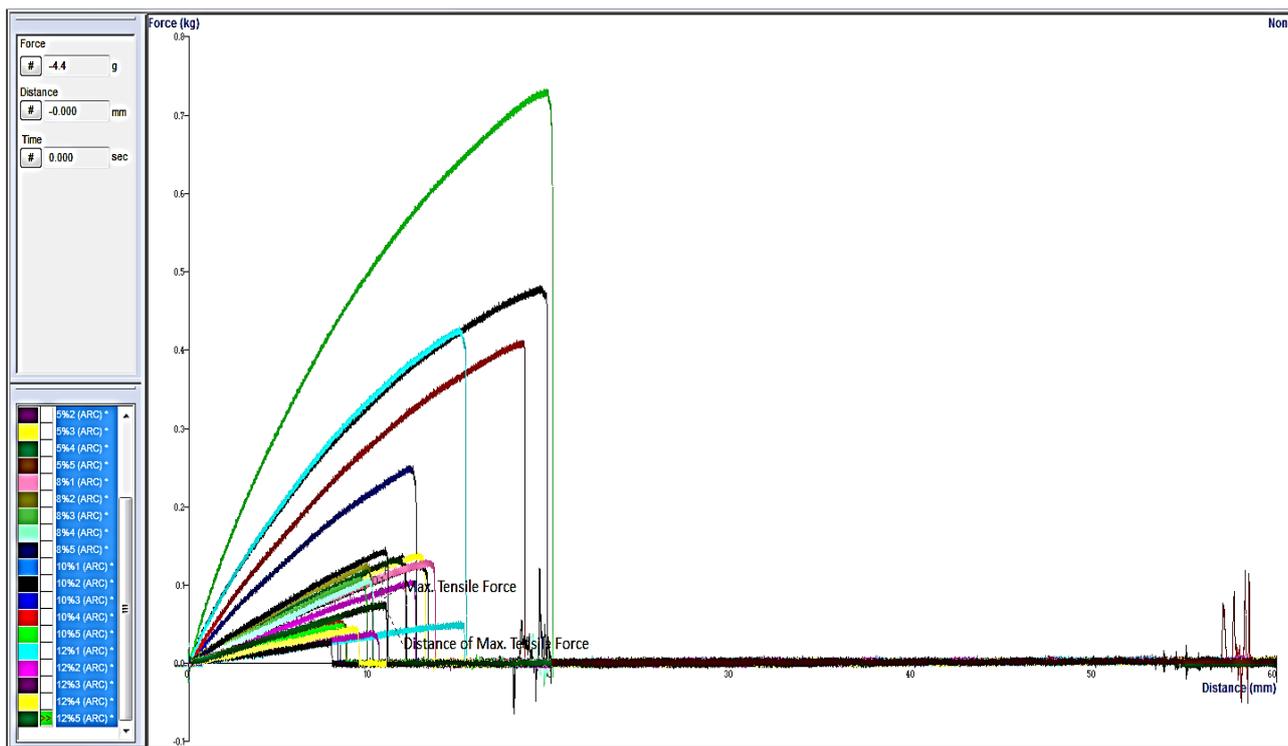


Figura N° 40: Gráfico de Fuerza (kg) vs. % Distancia recorrida (mm) arrojada por el Texturómetro para los porcentajes de 3,5, 8,10 y 12 % de glicerina.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO VI: FOTOS

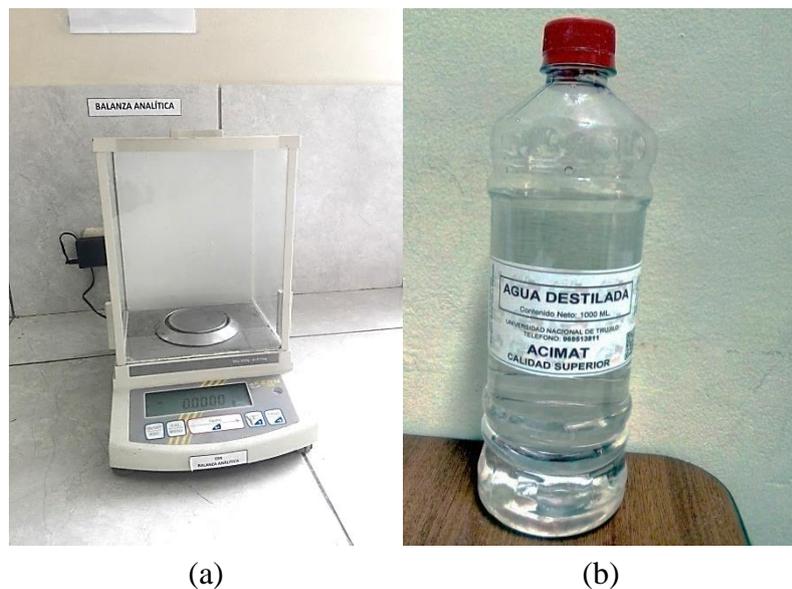


Figura N° 41: a) Balanza Analítica, b) Agua destilada.

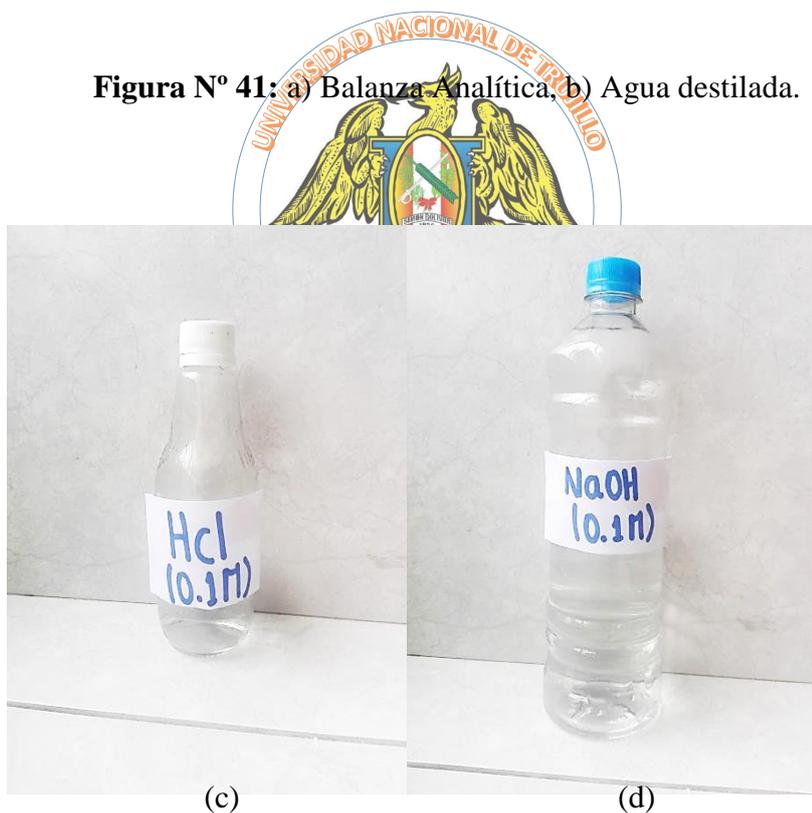


Figura N° 42: c) HCl al 0.1 Molar, d) NaOH al 0.1 Molar.



Figura N° 43: Lavando la papa.



Figura N° 44: Pelando y Lavado de la papa.



Figura N° 45: Cortando en trozos pequeños la papa y colocando en el vaso de la licuadora.



Figura N° 46: Agregando Agua destilada a los trozos de papa.



Figura N° 47: Licuado de la papa en la licuadora BOSCH.



Figura N° 48: Decantado por 1 hora de la papa.



Figura N° 49: Eliminando lo sobrenadante del decantado de la papa.



Figura N° 50: Secado del almidón de papa sobre la tela fieltro.



Figura N° 51: Almidón seco por 24 horas a temperatura ambiente y su posterior retirado de la tela fieltro.



Figura N° 52: Secando el almidón en la estufa eléctrica a 45 °C por 24 horas.

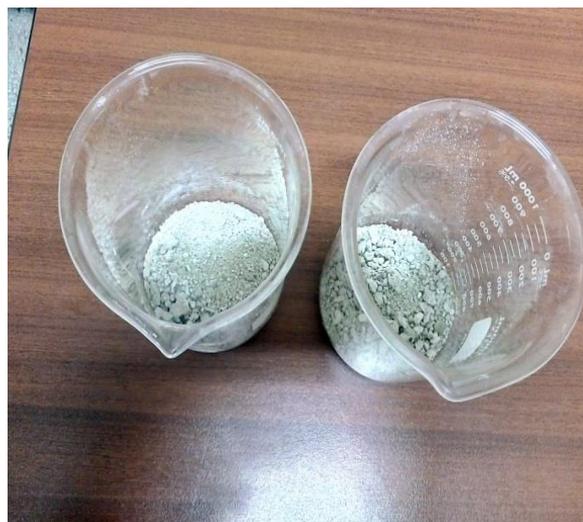


Figura N° 53: Almidón de papa listo para ser triturado.



Figura N° 54: Triturando el almidón.



Figura N° 55: Tamizado del almidón de papa en la malla # 100.

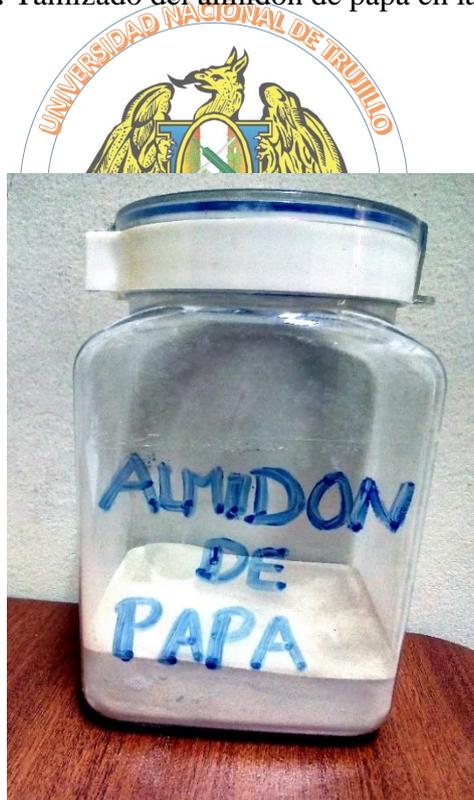


Figura N° 56: Almidón de papa.

- **La Elaboración del Bioplástico**

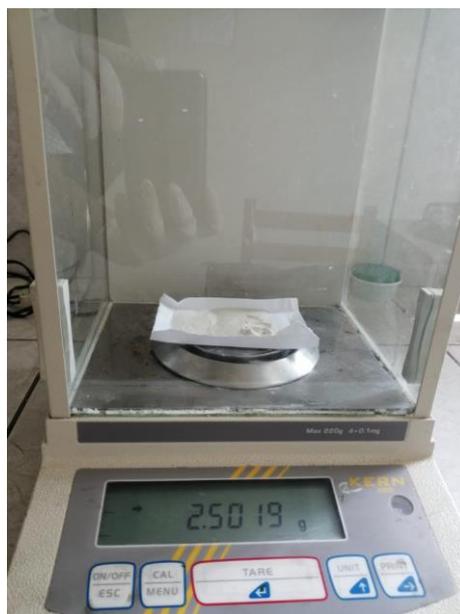


Figura N° 57: Pesando 2.5 gr de almidón de papa en la balanza analítica.



Figura N° 58: Pesando la glicerina en la balanza electrónica.



Figura N° 59: Agregando el HCl a 0.1 Molar a la mezcla de almidón de papa + agua destilada.



Figura N° 60: Agregando la glicerina a la mezcla.



Figura N° 61: Agregando el NaOH a 0.1 molar para neutralizar la mezcla.



Figura N° 62: Bioplástico a base de almidón vía casting.

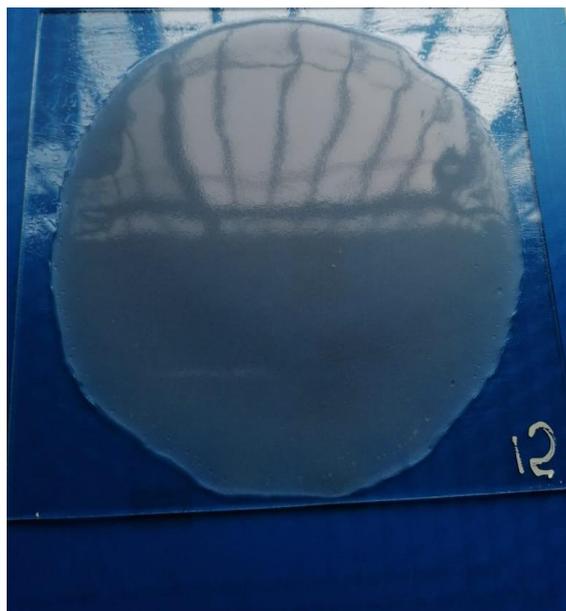


Figura N° 63: Bioplástico a base de almidón de papa listo para ser colocado en la estufa eléctrica.



Figura N° 64: Desmoldando la película de bioplástico a base de almidón de papa.



Figura N° 65: Película de bioplástico a base de almidón de papa.



Figura N° 66: Película de bioplástico de papa en el estereoscopio.

- **ENSAYO DE DSC Y TGA DEL BIOPLÁSTICO A BASE DE ALMIDÓN DE PAPA**



Figura N° 67: Ensayo de DSC y TG a las muestra de bioplástico a base de almidón de papa en el equipo analizador térmico SETARAM

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y % DEFORMACIÓN**



Figura N° 68: Midiendo el espesor a las probetas de bioplástico.



Figura N° 69: Ensayo de resistencia a la tracción y % deformación en el Texturometro.



Figura N° 70: Probetas de bioplástico colocadas entre las mordazas del Texturometro.



Figura N° 71: Probeta de bioplástico ensaya en el Texturometro hasta su rotura.



Figura N° 72: Probetas de bioplástico fragmentadas luego del ensayo de tracción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

RECTORADO

UNT

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

DECLARACIÓN JURADA

Los AUTORES suscritos en el presente documento DECLARAMOS BAJO JURAMENTO que somos los responsables legales de la calidad y originalidad del contenido del Proyecto de Investigación Científica, así como, del Informe de la Investigación Científica realizado.

TITULO:
.....
.....

<u>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA</u>	<u>INFORME FINAL DE INVESTIGACION CIENTÍFICA</u>
PROY DE TRABAJO DE INVESTIGACION (PREGRADO)	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO) ()
PROYECTO DE TESIS PREGRADO ()	TESIS PREGRADO ()
PROYECTO DE TESIS MAESTRÍA ()	TESIS MAESTRÍA ()
PROYECTO DE TESIS DOCTORADO ()	TESIS DOCTORADO ()



Equipo Investigador Integrado por:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	FACULTAD	DEP. ACADÉMICO	CATEGORÍA DOCENTE ASESOR	CÓDIGO Docente asesor Número Matrícula del estudiante	Autor Coautor asesor

Trujillo, de de

..... Firma DNI
..... Firma DNI
..... Firma DNI

¹ Este formato debe ser llenado, firmado, adjuntado al final del documento del PIC, del Informe de Tesis, Trabajo de Investigación respectivamente





UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

RECTORADO

UNT

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN REPOSITORIO DIGITAL RENATI-SUNEDU

Trujillo, de de.....

Los autores suscritos del INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA

Titulado:

AUTORIZAMOS SU PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL, REPOSITORIO RENATI-SUNEDU, ALICIA-CONCYTEC, CON EL SIGUIENTE TIPO DE ACCESO:

- A. Acceso Abierto: []
B. Acceso Restringido [] (datos del autor y resumen del trabajo)
C. No autorizo su Publicación []

Si eligió la opción restringido o NO autoriza su publicación sírvase justificar

- ESTUDIANTES DE PREGRADO: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN [] TESIS []
ESTUDIANTES DE POSTGRADO: TESIS MAESTRÍA [] TESIS DOCTORADO []
DOCENTES: INFORME DE INVESTIGACIÓN [] OTROS []

Table with 6 columns: N°, APELLIDOS Y NOMBRES, FACULTAD, CONDICIÓN (NOMBRADO, CONTRATADO, EMÉRITO, estudiante, OTROS), CÓDIGO Docente asesor Número Matrícula del estudiante, Autor Coautor asesor

Firma DNI
Firma DNI
Firma DNI

Este formato debe ser llenado, firmado Y adjuntado en et informe de Tesis y/o Trabajo de Investigación respectivamente.
Este formato en el caso de Informe de investigación científica docente debe ser llenado, firmado, escaneado y adjuntado en el sistema de www.picfedu.unitru.edu.pe

