

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos  
sintetizados a partir de almidón**

**Proyecto de Investigación**

**María Alejandra Narváez Guerrero**

**Ingeniería Química**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniera Química

Quito, 21 de diciembre de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a  
partir de almidón**

**Alejandra Narváez Guerrero**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, Ph.D.

Firma del profesor

---

Quito, 21 de diciembre de 2016

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

---

Nombres y apellidos:

María Alejandra Narvárez Guerrero

Código:

00105474

Cédula de Identidad:

1720671278

Lugar y fecha:

Quito, 21 de diciembre de 2016

## RESUMEN

En la presenta investigación se elaboró un biopolímero a partir de almidón de maíz. El almidón de maíz se mezcló con agua, modificadores químicos como el hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl) y glicerina que actúa como plastificante. Se utilizó un diseño de experimentos con quince variables donde se manipularon la cantidad de glicerina y el valor de pH, realizándose cinco repeticiones de cada experimento. Posteriormente, se estudió la influencia de estas variables sobre las propiedades mecánicas de los biopolímeros elaborados. Se analizaron las siguientes propiedades mecánicas: módulo de elasticidad [MPa], esfuerzo último [MPa] y elongación [%]. Finalmente, se realizó una comparación entre las propiedades mecánicas de los bioplásticos y las propiedades mecánicas de tres diferentes plásticos derivados de petróleo.

Se observó que las propiedades mecánicas, el módulo de elasticidad, esfuerzo último de los biopolímeros varían de acuerdo a la cantidad de glicerina y variación de pH, por otro parte, la elongación aumenta proporcionalmente con el aumento de glicerina, siendo la única propiedad mecánica que mostró una tendencia clara. Los biopolímeros elaborados poseen propiedades mecánicas con valores menores a los plásticos derivados de petróleo, sin embargo, el bioplástico con cantidad de glicerina de 35% y pH 5 y glicerina 35% y pH 7 tiene una elongación [%] comparable a la de un plástico derivado de petróleo.

**Palabras Clave:** biopolímeros, almidón, glicerina, pH, propiedades mecánicas.

## **ABSTRACT**

The research shows how cornstarch was used to make a biopolymer. Cornstarch was mixed with water, with chemical modifiers such as sodium hydroxide (NaOH) and hydrochloric acid (HCl), and glycerin, which was used as a plasticizer. An experimental design with 15 variables was used, and the factors that were varied were the amount of glycerin and the pH value; five repetitions of each experiment were made. Later, the influence and effects of these variables on the mechanical properties of the biopolymers were analyzed. The following mechanical properties were observed: elasticity modulus [MPa], ultimate stress [MPa], and elongation [%]. Finally, a comparison was made between the mechanical properties of the bioplastics and the mechanical properties of three different plastics, which are petroleum derivatives.

On one hand, with this research it was possible to determine that the mechanical properties such as the elasticity modulus and the ultimate stress of the biopolymers will vary according to the amount of glycerin used and the variation of the pH value. On the other hand, it was observed that the biopolymer elongation increases proportionately with the increase of glycerin. The latest, being the only mechanical property the showed a clear tendency. Results show that the biopolymers that were made with cornstarch have lower mechanical properties values than the plastics that are petroleum derivatives. However, the study shows that the bioplastic with 35% amount of glycerin and pH 5, and the bioplastic with 35% amount of glycerin and pH 7, have a comparable and similar elongation to the elongation of a petroleum derivative plastic.

**Key words:** biopolymers, starch, glycerin, pH, mechanical properties.

**TABLA DE CONTENIDO**

1. Introducción.....	7
2. Materiales y métodos.....	13
3. Resultados y discusiones.....	17
4. Conclusiones.....	27
5. Referencias.....	28

## 1. Introducción

Los plásticos derivados de petróleo constituyen una industria creciente a nivel mundial. Sin embargo, esta industria con lleva una problemática ambiental una vez que un plástico es utilizado este se desecha y pasa a formar parte de las 200,000,000 toneladas año de desechos producidos mundialmente [9]. Al provenir de una fuente no renovable y no ser biodegradables, los desechos plásticos permanecen como contaminantes en la superficie terrestre durante largos periodos de tiempo. Esto ha impulsado la búsqueda de biopolímeros elaborados a partir de recursos renovables que son biodegradables como una alternativa para disminuir el impacto ambiental que acarrea el uso de plásticos [6,10].

Un polímero biodegradable es un compuesto de alto peso molecular que, mediante la acción de microorganismos, se degrada a compuestos de bajo peso molecular que no son tóxicos y que pueden ser eliminados en el ambiente a condiciones normales [4,25]. Los polímeros biodegradables también conocidos como biopolímeros, abarcan dos tipos de moléculas: aquellas moléculas sintetizadas por seres vivos o aceites vegetales y aquellas que provienen de la polimerización de una molécula derivada de una fuente renovable. La alternación de la estructura de un biopolímero con diferentes aditivos con el fin de mejorar sus propiedades fisicoquímicas lo convierte en un bioplásticos [2,22].

Los bioplásticos se fabrican a partir de recursos renovables de origen natural como el almidón. El almidón es el principal carbohidrato de almacenamiento de energía en las plantas por lo que se encuentra en abundancia en la naturaleza. También es uno de los componentes más abundantes de la biomasa residual en la agroindustria después de la celulosa [8]. El almidón está compuesto fundamentalmente por glucosa y constituido por dos tipos de polisacáridos, la amilosa y amilopectina, que puede polimerarse para crear polímeros biodegradables y bioplásticos [3]. Sin embargo, las propiedades mecánicas de los

biopolímeros creados a partir de almidón no son adecuados para una amplia aplicación por sus bajas propiedades mecánicas, siendo quebradizos y teniendo baja resistencia a la tensión. Por esta razón, se ha propuesto la elaboración de una película bioplástica con el fin de optimizar las propiedades mecánicas, las cuales van a hacer mejoradas con diferentes cantidades de plastificante.

- En este proyecto de titulación se busca optimizar las propiedades mecánicas de los bioplásticos obtenidos a partir de almidón, presentado los siguientes objetivos:
- Desarrollar un método para la elaboración de bioplásticos en película a partir de almidones comerciales.
- Experimentar con diferentes formulaciones que contengan diferentes cantidades de glicerina y valor pH (3,5,7,9,11), y determinar sus efectos en las propiedades mecánicas de los bioplásticos de almidón.
- Comparar el desempeño mecánico de las mejores formulaciones de bioplásticos de almidón obtenido con otros plásticos de uso común derivados del petróleo.

### **1.1. Biopolímero**

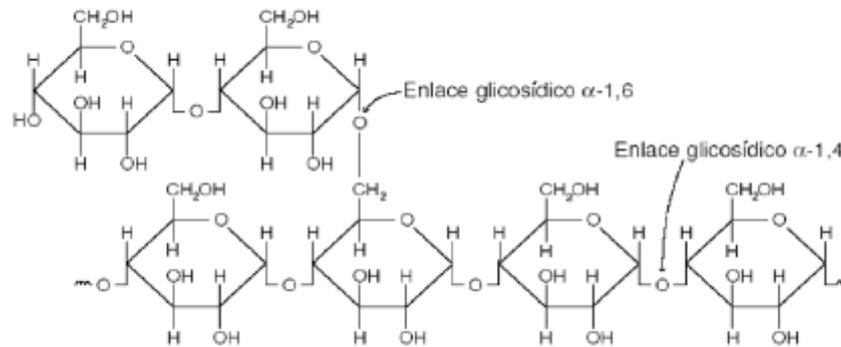
Los biopolímeros son todos aquellos polímeros producidos a partir de recursos renovables como el almidón, celulosa, azúcares y aceites vegetales. De ellos se derivan los bioplásticos que proviene de la misma materia prima, pero al sufrir un procesamiento distinto se originan los bioplásticos [3].

Los bioplásticos son una alternativa para reducir la contaminación ambiental que generan los residuos plásticos, a través de su asimilación con el medio ambiente, es decir, la mayoría de los bioplásticos son 100% biodegradables siendo esta la principal ventaja frente a los plásticos derivados de petróleo. Adicionalmente los bioplásticos pueden llegar a poseer

las mismas características físicas de resistencia que los plásticos convencionales [7]. Otra de sus ventajas está en su composición: los bioplásticos están libres de aditivos sintéticos tóxicos tales como el bisfenol [4] A, un aditivo perjudicial para la salud que está presente en la composición de los plásticos. Las desventajas de los bioplásticos frente a los plásticos convencional, están sus bajas propiedades mecánicas que limitan sus aplicaciones. Su elaboración principalmente proviene de residuos agrícolas o alimentos, en tanto que la producción a gran escala podría tener un impacto en los precios de los alimentos [23].

## **1.2. Almidón**

El almidón es un polisacárido conformado por dos polímeros: la amilosa y la amilopectina [6]. La amilosa soluble en agua y representa cerca del 16-35% de la materia que constituye el almidón. Está formado por 200 a 300 unidades de glucosa enlazadas mediante uniones glucosídicas  $\alpha$ -1,4, en forma de cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice [24]. Por otro lado, las moléculas de la amilopectina contienen enlaces glucosídicas  $\alpha$ -1,6 constituyen el 64% - 85% del almidón total, y contiene aproximadamente 2000 000 unidades de glucosa que se encuentran con frecuencia en forma de ramificaciones de la cadena principal. La estructura del almidón, amilosa, y amilopectina se representan en la figura 1 [25].



**Figura 1** Representación de los polímeros que constituyen el almidón. Amilosa (superior)  
amilopectina (inferior)[24]

El almidón comercial se obtiene de las semillas de cereales como el maíz, trigo, tipos de arroz, algunas raíces y tubérculos como la patata. El más utilizado para la producción de bioplásticos es el almidón de maíz[15,3].

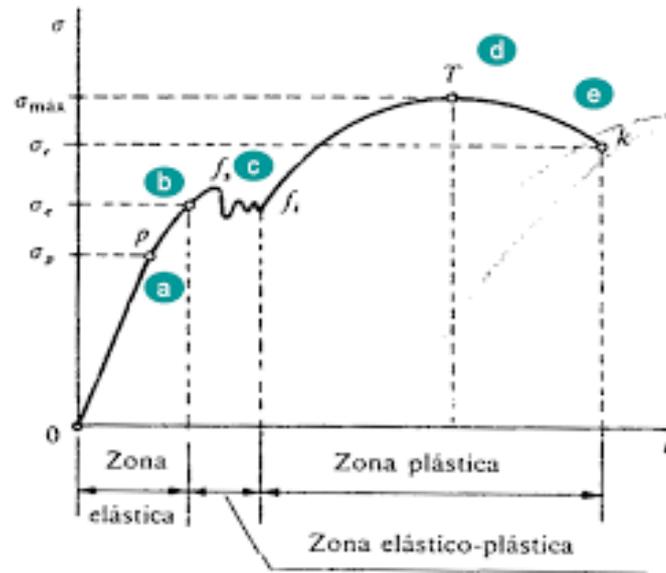
El almidón tiene una densidad a la de la mayoría de los polímeros termoplásticos convencionales:  $1.2 - 1.35 \text{ g/cm}^3$ . Presenta baja resistencia a disolventes. Una de las propiedades más importantes del almidón natural es su semicristalinidad donde la amilopectina es el componente principal para la cristalización [17]. También es muy sensible a la humedad y al contacto con agua lo que limita el rango de sus aplicaciones. En cambio, debido a su estructura, ofrece propiedades moderadas de permeabilidad al oxígeno. Las propiedades mecánicas del almidón como resistencia y flexibilidad, dependen de la región cristalina, la cual a su vez depende de la proporción entre amilosa y amilopectina del polisacárido [19].

### 1.3. Propiedades mecánicas

La mayoría de materiales están sometidos a fuerzas o cargas. Es importante conocer las características del material de tal manera que este pueda ser utilizado antes de una deformación excesiva que comprometa la integridad física del mismo. Las propiedades mecánicas de un material reflejan la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material a la misma. Las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia [ $\text{N}/\text{m}^2$ ] y elongación [m] [11,19].

Las propiedades mecánicas se pueden medir por ensayo de tracción el cual mide la deformación de la probeta entre dos puntos fijos de la misma medida que incrementa la carga aplicada, la misma se representa gráficamente en función de la tensión como se observa en la figura 2 [14].

Los bioplásticos derivados de almidón son materiales que presentan propiedades mecánicas bajas: es soluble en agua, el bioplásticos puede presentar propiedades de ablandamiento y deformación cuando este entra en contacto con la humedad, resultando en un producto quebradizo. Este tipo de bioplásticos tienen usos limitantes ya que no se puede crear películas flexibles y resistentes [13,16].



**Figura 2** Curva tensión- deformación [11]

La curva de tensión-deformación presenta comportamientos importantes característicos para cada material en distintas zonas. Entre las características más importantes se encuentra la deformación elástica (zonas a y b) donde las deformaciones son pequeñas en magnitud y se reparten a lo largo de la probeta. Si se retira la carga aplicada la probeta recupera su elongación inicial, lo que se denomina una recuperación elástica [19,27]

La zona de fluencia o cedencia (c), presenta una deformación brusca de la probeta sin incremento de carga aplicada. Deformaciones en esta zona se presentan cuando las impurezas o elementos de aleación bloquean la dislocación de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, provocando deformación plástica en el material. En este caso, se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta, pero se concentran en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones. No todos los materiales presentan este fenómeno [21,26]. Estricción (d), en esta zona las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta, acumulando las deformaciones hasta la rotura de la probeta en dicha zona. Esta zona

es la responsable del descenso de la curva tensión- deformación (d). En esta zona las tensiones no disminuyen hasta resultar la ruptura del material (e) [22, 21].

## **2. Materiales y métodos**

Los bioplásticos estudiados elaborados a partir de maicena de maíz comercial, “Iris”, glicerina, agua destilada, hidróxido de sodio (NaOH), y ácido clorhídrico (HCl). Para el proceso de secado del bioplástico se utilizó un sistema de secado manual con mallas de secado. Finalmente, las pruebas mecánicas se realizaron en una máquina universal de ensayos mecánicos marca Tinus Oisen.

### **2.1. Elaboración de los bioplásticos**

Para la elaboración de bioplásticos se realizó una solución acuosa a partir de maicena, agua destilada, NaOH, HCl y glicerina. Las cantidades de maicena y agua destilada fueron las mismas para todos los experimentos: se trabajó con un 12% de maicena comercial, y un 49% de agua destilada. Los otros componentes varían según el diseño experimental como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1** Diseño de experimentos

<b>Experimento</b>	<b>Concentración de glicerina [%]</b>	<b>pH [-]</b>
1	15	3
2	15	5
3	15	7
4	15	9
5	15	11
6	25	3
7	25	5
8	25	7
9	25	9
10	25	11
11	35	3
12	35	5
13	35	7
14	35	9
15	35	11

Se tomó en cuenta el pH de cada solución utilizada en la elaboración de bioplásticos el cual fue ajustado con diferentes cantidades de hidróxido de sodio NaOH para el caso de obtener un bioplástico básico (7, 9, 11), y cantidades de ácido clorhídrico HCl para obtener un bioplástico con pH ácido (3,5). Cada solución acuosa fue calentada con agitación manual

en una hornilla a una temperatura media de 70 °C (máx. 90°C), por aproximadamente 15 min.

Todos los materiales se obtuvieron del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito.

## **2.2. Secado de los bioplásticos**

Para el proceso de secado de los bioplástico se colocó la solución acuosa entre dos moldes de teflón. Este proceso se realiza para obtener un espesor estándar para todas las muestras, de aproximadamente 0.25 cm. La solución acuosa se mantiene entre los moldes de teflón por 24 horas, y se obtiene una película uniforme. La pérdida de humedad es de alrededor del 60%. La película simétrica obtenida pasa a una malla de secado por 72 horas. En esta etapa, el bioplástico sufre una pérdida de humedad de alrededor del 60%. Finalmente, la película es separada de la malla y se procede a dimensionarla con una altura de 25 cm, ancho de 2.5 cm y espesor de 0.25 cm. Se obtienen 5 probetas por cada formulación y posteriormente usando las mismas se lleva a cabo las pruebas mecánicas.

## **2.3. Pruebas mecánicas**

Las pruebas mecánicas se realizaron a las 15 formulaciones por quintuplicado, y a los 3 diferentes plásticos derivados de petróleo que se realizaron por quintuplicado. Las pruebas mecánicas se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D3039/D3039M-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, en una máquina de ensayos mecánicos universal marca Tinius Oisen.

## 2.4. Máquina de ensayos mecánicos universal

### 2.4.1. Ejecución de pruebas mecánicas

Se inicia colocando una las probetas elaboradas con las dimensiones requeridas entre la mordaza superior e inferior de la maquina universal de ensayos mecánicos. Utilizando el programa Horizon, se ingresan las especificaciones físicas tales como: altura (mm), ancho(mm) y espesor (mm) de cada probeta. Una vez ingresada esta información se la inicio a la prueba mecánica que dura aproximadamente 10 min. La prueba mecánica consiste en someter a la probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que la misma sufra una ruptura, momento cuando finaliza la prueba mecánica. Los resultados se exportan Excel para su posterior análisis.

### 2.4.2. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es una constante de proporcionalidad que depende de la naturaleza del material. Las unidades del módulo de elasticidad en el Sistema Internacional son newton sobre metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ ). El módulo de elasticidad se calcula por medio la ecuación 1.

$$MÓDULO DE ELASTICIDAD = \frac{\text{Esfuerzo } (\frac{\text{N}}{\text{m}^2})}{\text{Deformación}} (1)$$

El módulo de elasticidad se lo calcula en la zona lineal de la curva esfuerzo-deformación, corresponde a la zona de elasticidad (a) en la figura 2. En esta región el esfuerzo se relaciona linealmente con la deformación.

### 3. Resultados y Discusiones

#### 3.1. Elaboración de bioplásticos

Se realizaron pruebas preliminares para la elaboración de películas de bioplásticos. En la tabla 2 se muestran los diferentes ensayos, donde se determinó el porcentaje de almidón y agua a utilizar en la mezcla.

**Tabla 2** Pruebas preliminares para la elaboración de biopelículas a base de almidón

<b>Almidón (g)</b>	<b>Agua (ml)</b>	<b>Facilidad de moldeo</b>	<b>Forma película</b>
150	150	No	No
75	150	No	No
50	150	Si	No
<b>37.5</b>	<b>150</b>	<b>Si</b>	<b>Si</b>

Debido a que la estructura y textura del bioplástico se encuentra relacionada con las proporciones de almidón y agua, se varió su contenido.

Para la elaboración de las películas se realizaron distintos ensayos variando las condiciones de temperatura, con el fin de encontrar las mejores condiciones de temperatura que permiten la obtención de películas estables que no se rompen. En la tabla 3 se observa los resultados obtenidos.

**Tabla 3** Datos para la elaboración de películas de bioplásticos a partir de almidón.

<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Observaciones</b>
70	No forma película
60	No forma película
70	Forma película de color blanco, elástica y resistente
80	Forma película de color blanco, no elástica y muy resistente.

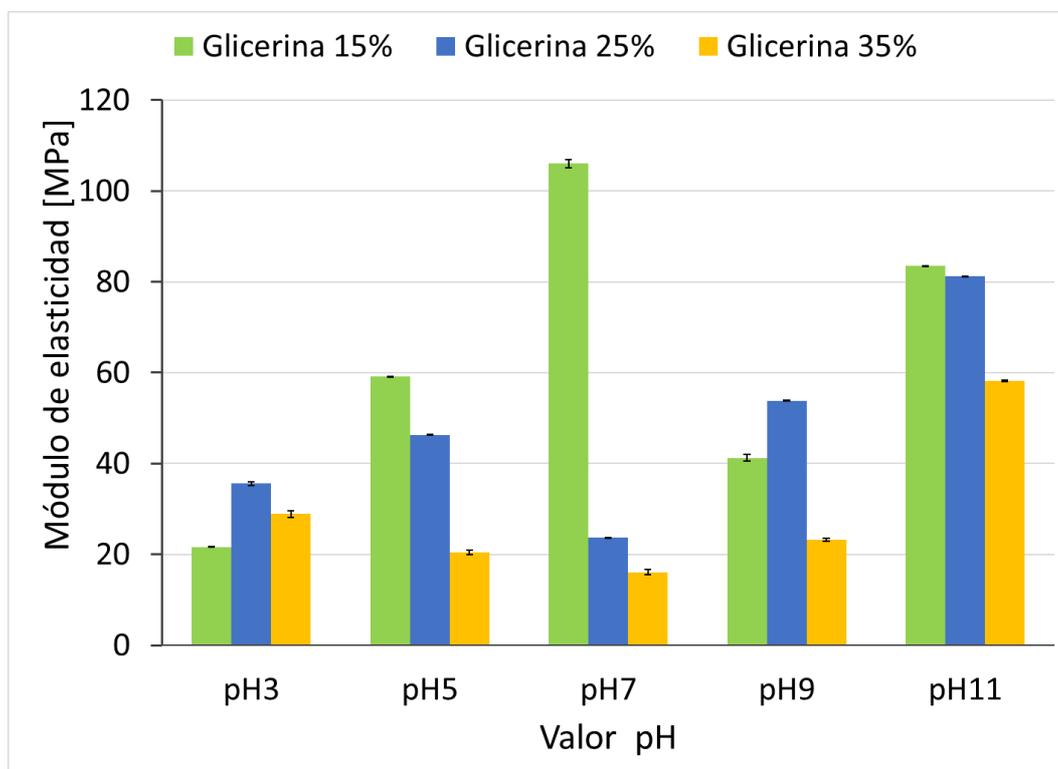
Como se observa, se seleccionó el rango adecuado de temperatura [°C] de acuerdo a la apariencia y calidad física del bioplástico.

### 3.2. Pruebas mecánicas

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas mecánicas son propiedades físicas de los materiales plásticos y bioplásticos. El análisis de este estudio se centró en analizar el módulo de elasticidad, esfuerzo último y elongación de los 15 experimentos de bioplásticos elaborados y de los 3 distintos tipos de plásticos derivados de petróleo.

#### 3.2.1 Módulo de elasticidad

Para todos los experimentos se calculó el módulo de elasticidad de acuerdo a la ecuación 1.



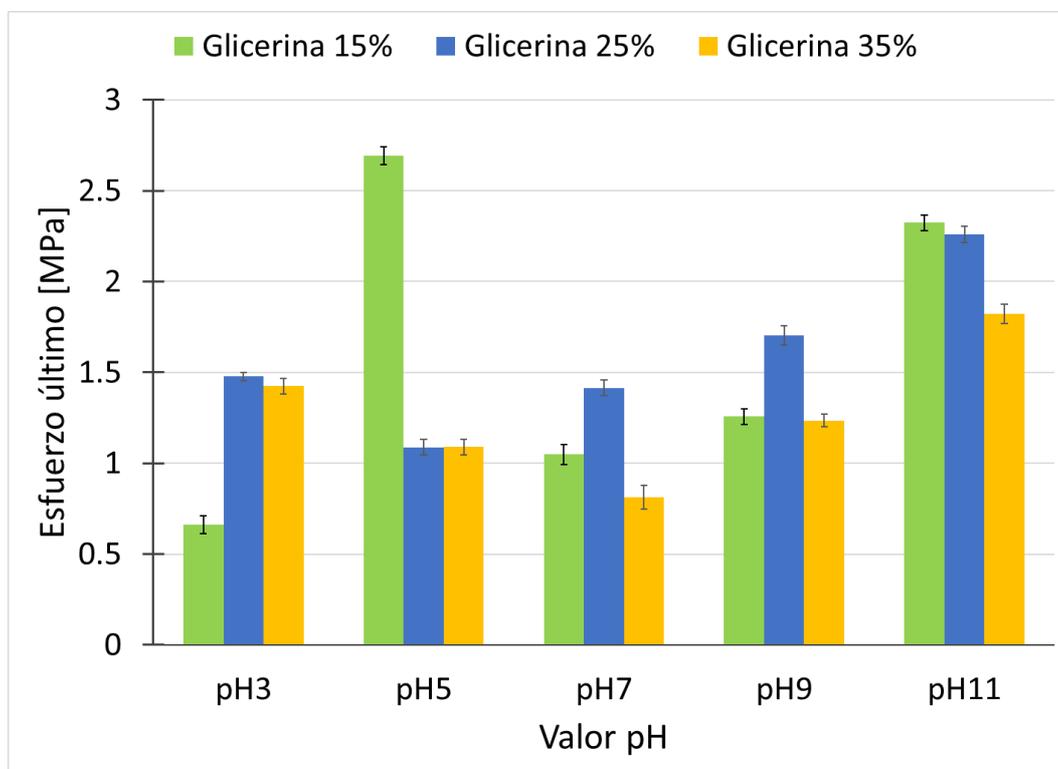
**Figura 3** Módulo de elasticidad para los diferentes valores de pH y porcentajes de glicerina

Como se observa en la figura 3, el módulo de elasticidad varía para todos los bioplásticos con concentraciones de glicerina y valores de pH diferentes. El mayor valor es demostrado por el bioplástico con cantidad de glicerina de 15% y pH 7, (106.05 MPa). Al contrario, el bioplásticos que presenta el módulo de elasticidad de menor valor es aquel que fue preparado bajo condiciones de pH 7 y una concentración de glicerina de 35%, (16.106 MPa).

Todos los valores obtenidos para el módulo de elasticidad fueron todos positivos, lo que quiere decir que todos los biopolímeros preparados con una zona elástica.

### 3.2.2 Esfuerzo último

El esfuerzo último es la mayor resistencia que soporta cada probeta de bioplásticos. Los resultados obtenidos se observan en la figura 4.

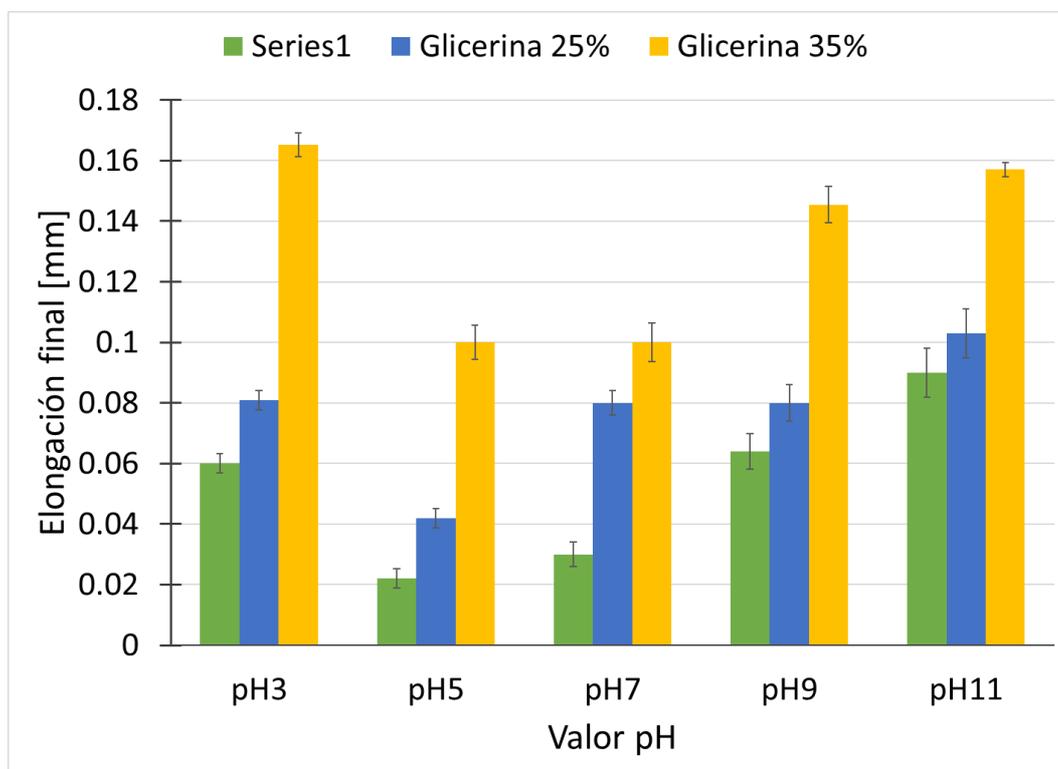


**Figura 4** Esfuerzo último para los diferentes valores de pH y porcentajes de glicerina

Como se observa en la figura 4, no hay dependencia entre el esfuerzo último y el porcentaje de glicerina, ni tampoco el valor de pH de manufactura de los bioplásticos. Sin embargo, se puede apreciar que la probeta de bioplástico aquella que demostró la mayor resistencia fue aquella con una concentración de glicerina del 15% y pH 5, (2.69 MPa). Por otro lado, la probeta que mostro menor resistencia fue aquella con una concentración de glicerina del 15% y pH 3, (0.66 MPa). Este valor es aproximadamente 4 veces menor a la resistencia mayor obtenida.

Como se puede apreciar en la figura 4, los bioplásticos elaborado no soportarían un esfuerzo máximo mayor a 2.5 MPa, lo que limita su uso en el mercado. Los bioplásticos alcanzansin problema una resistencia de ruptura de 0.5 MPa.

### 3.2.3. Elongación



**Figura 5** Elongación final para los diferentes valores de pH y porcentajes de glicerina

Se puede observar que la elongación final para cada composición de glicerina en la muestra incrementa de acuerdo al aumento de glicerina. Por ejemplo, la probeta bioplástica preparada con pH 7, mostro un porcentaje de elongación del 3% con una concentración de glicerina del 15%. Para el mismo el pH de 7 pero con una concentración de glicerina de 25% el porcentaje de elongación es de 8%; finalmente para una concentración de glicerina del 35% la elongación final fue de 10%. Esta tendencia se repitió en todos los conjuntos de probetas con el mismo pH de preparación, lo que sugiere que la elongación aumenta proporcionalmente con la concentración de glicerina. Se encontró que la glicerina es la variable más influyente en los cambios de las propiedades mecánica de elongación. Esto se puede explicar mediante el hecho de que la glicerina actúa como plastificante; siendo una molécula que reduce la cristalinidad del almidón, facilita la movilidad de las cadenas poliméricas del biopolímero. mejorando la flexibilidad del bioplástico. Los valores numéricos obtenidos del módulo de elasticidad [MPa], elongación [%] y último esfuerzo [MPa] se encuentran representados en la tabla 4, 5 y 6.

**Tabla 4** Módulo de elasticidad [MPa], esfuerzo último [MPa] y elongación final (-) para concentración de glicerina 15%

	<b>Glicerina 15%</b>				
	<b>pH3</b>	<b>pH5</b>	<b>pH7</b>	<b>pH9</b>	<b>pH11</b>
<b>Módulo de Elasticidad [Mpa]</b>	0.22	0.59	0.11	0.41	0.84
<b>Esfuerzo último [Mpa]</b>	0.66	2.69	1.05	1.26	2.32
<b>Elongación final [-]</b>	0.06	0.109	0.03	0.064	0.09

**Tabla 5** Módulo de elasticidad [MPa], esfuerzo último [MPa] y elongación final (-) para concentración de glicerina 25%

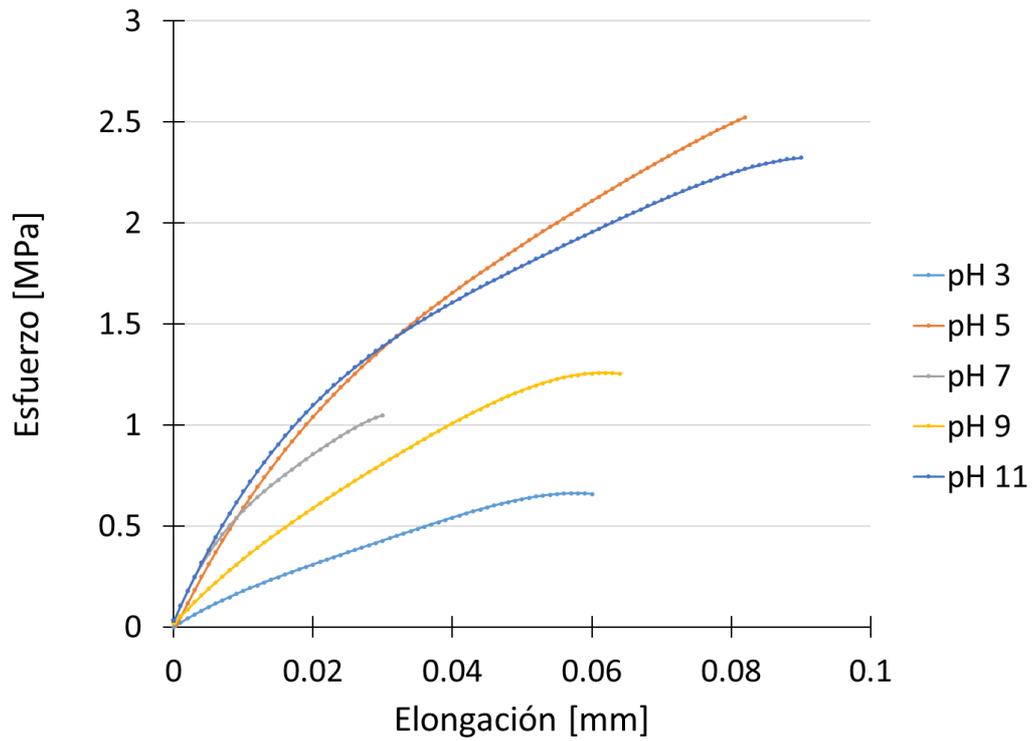
	<b>Glicerina 25%</b>				
	<b>pH3</b>	<b>pH5</b>	<b>pH7</b>	<b>pH9</b>	<b>pH11</b>
<b>Módulo de Elasticidad [Mpa]</b>	0.36	0.46	0.24	0.54	0.81
<b>Esfuerzo último [Mpa]</b>	1.48	1.09	1.41	1.70	2.26
<b>Elongación [-]</b>	0.081	0.042	0.08	0.08	0.103

**Tabla 6** Módulo de elasticidad [MPa], esfuerzo último [MPa] y elongación final (-) para concentración de glicerina 35%

	<b>Glicerina 35%</b>				
	<b>pH3</b>	<b>pH5</b>	<b>pH7</b>	<b>pH9</b>	<b>pH11</b>
<b>Módulo de Elasticidad [Mpa]</b>	0.29	0.20	0.16	0.23	0.58
<b>Esfuerzo último [Mpa]</b>	1.43	1.09	0.81	1.23	1.82
<b>Elongación [-]</b>	0.1652	0.1	0.1	0.1455	0.1571

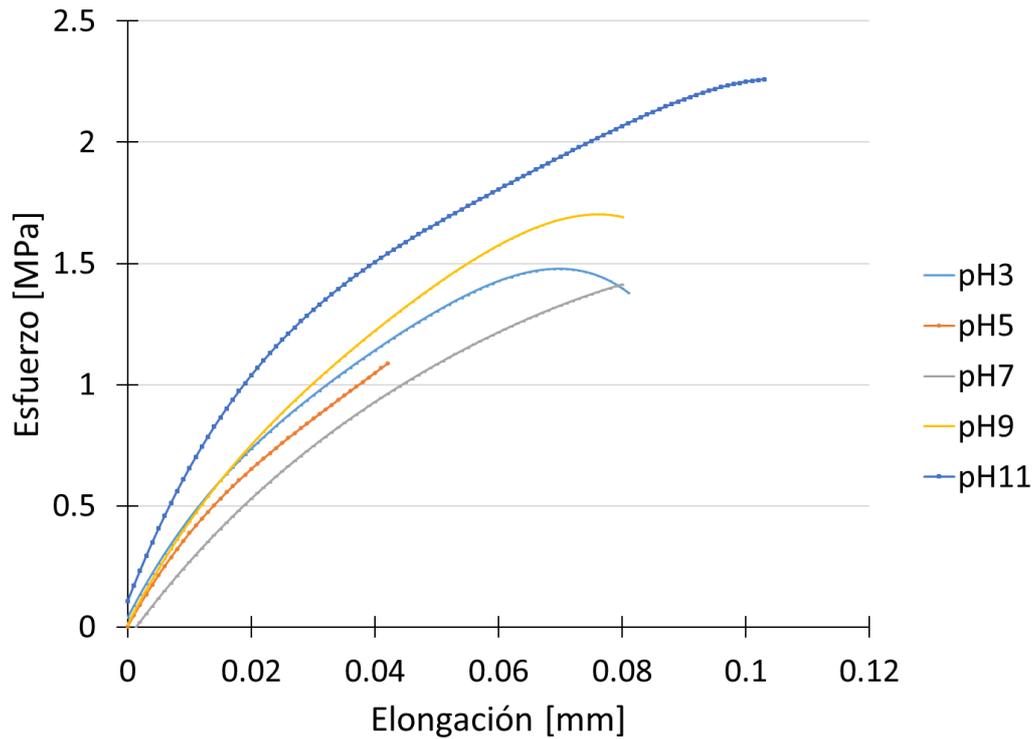
### 3.2.4. Variación de pH y contenido de glicerina

A partir del método experimental para la elaboración de bioplásticos a partir de almidón y las pruebas mecánicas realizadas a las probetas se obtuvo la fuerza [Pa o N/mm<sup>2</sup>] en función de la elongación [mm]. En las figuras 6, 7, y 8 se encuentra la curva de tensión para cada experimento.



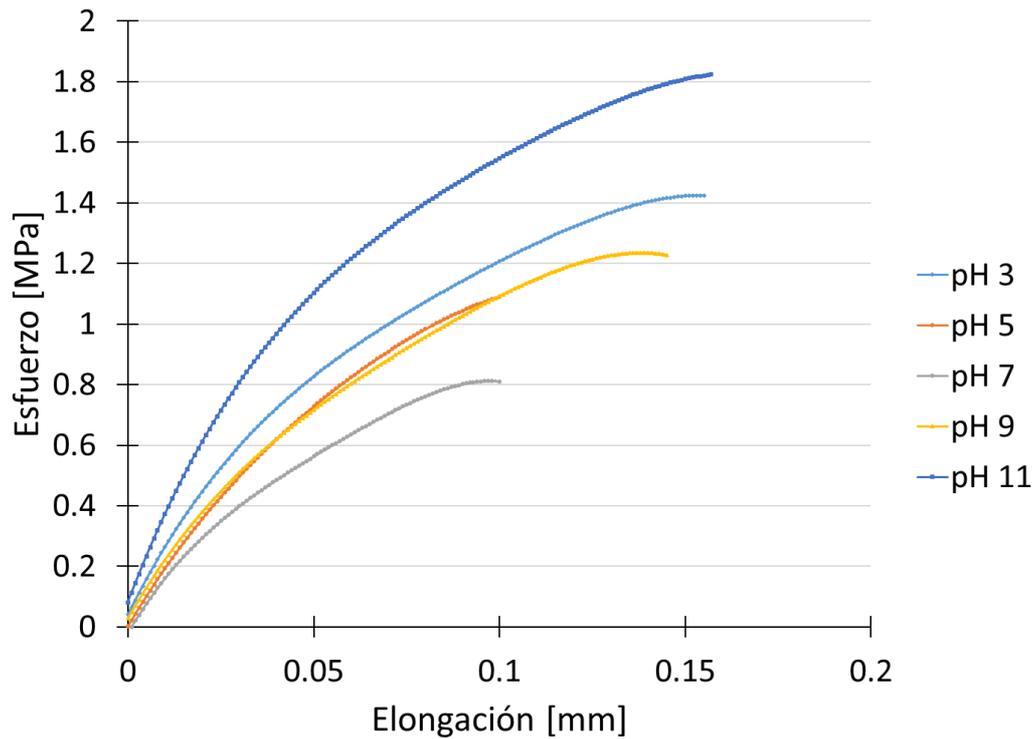
**Figura 6** Curvas de tensión- esfuerzo para glicerina al 15%

Los valores de elongación varían con respecto al pH, con un rango de pH ácido a básico (3,5,7,9,11). Sin embargo, los resultados no muestran una tendencia de aumento frente al pH. La elongación máxima que se obtiene para los experimentos con diferentes valores de pH a una concentración de glicerina de 15% es de 0.1 mm.



**Figura 7** Curvas de tensión - esfuerzo para glicerina al 25%

Como se observa para el experimento donde se obtuvo variables de pH, los valores de elongación para este caso también varían respecto a la variación de pH con un rango de pH ácido a básico (3,5,7,9,11). La elongación máxima que se obtiene para los experimentos con diferentes pH a una concentración de glicerina de 25% alcanza los 0.105 mm.



**Figura 8** Curvas de tensión - esfuerzo para glicerina al 35%

La elongación máxima que se obtiene para los experimentos con diferentes pH con un rango de pH ácido a básico (3,5,7,9,11), a una concentración de glicerina de 35% es de 0.16 mm.

Los valores de esfuerzo último varían respecto a la concentración de glicerina: el esfuerzo último de la probeta con la concentración de glicerina de 35% alcanza un valor menor con respecto al esfuerzo último de la probeta con concentración de glicerina de 25%. La adición de glicerina como un plastificante como disminuye la propiedad mecánica de esfuerzo último; sin embargo, no es una tendencia para todos los experimentos.

### 3.2.5. Propiedades mecánicas de plásticos derivados de petróleo.

Una vez obtenido el módulo de elasticidad, esfuerzo último y elongación final para cada bioplásticos, se compraron estos valores con aquellos de tres plásticos derivados de petróleo con el fin de comparar sus pruebas mecánicas.

**Tabla 7** Módulo de elasticidad, esfuerzo último y elongación final para plásticos derivados de petróleo y bioplásticos

	<b>Módulo de Elasticidad [Mpa]</b>	<b>Esfuerzo último [Mpa]</b>	<b>Elongación final [-]</b>
<b>Plástico 1</b>	1.41	10.79	0.10
<b>Plástico 2</b>	0.94	7.67	0.20
<b>Plástico 3</b>	3.50	3.76	0.00

La tabla 7 muestra el módulo de elasticidad, esfuerzo último y elongación final para los diferentes plásticos derivados de petróleo, los plásticos cuentan con módulos de elasticidad y esfuerzo último superiores a los módulos de elasticidad y esfuerzo último de los bioplásticos. Sin embargo, los valores de elongación final de los bioplásticos elaborados a partir de almidón con concentración de glicerina al 35% y pH de 5 y pH de 7 son comparables con el plástico 1.

#### **4. Conclusiones**

En este proyecto se elaboraron bioplásticos a partir de almidón de maíz. Se determinó que la cantidad de almidón y glicerina es de 4:1 para obtener una película sólida. La temperatura óptima es de 70°C y su tiempo de agitación es de 15 min.

El tiempo de secado de una probeta es de 4 días, en el cual tiene una pérdida de humedad de un 70%.

La elongación final de un bioplástico es mayor cuando este presenta una concentración mayor de glicerina. El esfuerzo último del bioplásticos aumenta cuando su concentración de glicerina disminuye. Con respecto al módulo de elongación, este es una característica única de cada experimento, el cual varía con respecto a la concentración de glicerina y variación de pH de cada bioplástico elaborado.

En cuanto a las pruebas mecánicas realizadas a los plásticos derivados de petróleo, estos presentan características mecánicas superiores frente a los bioplásticos elaborados, sin embargo, en dos tipos de plástico presentan la misma elongación que los bioplásticos.

## 5. Referencias

[1] Hernández, M., Torruco J., Chel L., Betancu, D. Caracterización de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. [en línea], 2013. [accedido. 2 de junio 2016]. Recuperado: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>.

[2] Guía técnica para la producción y análisis de almidón de Yuca. Análisis físico químico del almidón. [en línea]. [accedido 12 de agosto 2016]. Recuperado: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s03.pdf>

[3] Charro, Mónica. Trabajo de grado: Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. Quito: Universidad Central del Ecuador. [en línea]. 2015. [accedido 12 de noviembre 2016]. Recuperado: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

[4] Valarezo, Ma José. Tesis de grado: Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. [en línea]. 2012. [accedido 3 de diciembre de 2016]. Recuperado: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2733/1/Maria%20Jose%20Valarezo%20Ulloa.pdf>

[5] Agama, E., Juárez, E., Evangelista, S., Rosales, O & Bellos, L. Characteristics of maize starch and relationship with its biosynthesis enzymes. México. [en línea]. 2013. [accedido 7 de diciembre 2016]. Recuperado : <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>

[6] Tovar, Tomas. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz obtenido por diferentes métodos de asilamiento. [en línea ]. 2008. [accedido 3 de diciembre de 2016]. Recuperado : <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10867/Caracterizacion%20morfologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf?sequence=1>.

[7] Garcia, Alma. Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. [en línea]. 2015. [accedido 7 de diciembre de 2016]. Recuperado: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2436/1/05%20Obtenci%C3%B3n%20de%20un%20pol%C3%ADmero%20biodegradable.pdf>

[8] Tovar, D., García, K., Coronel, V, & Contreras, P. Preparación de biopolímeros a partir de almidón de trigo. [en línea]. 2014. [accedido 4 de noviembre 2016]. Recuperado : [http://vinculacion.dgire.unam.mx/Congreso-Trabajos-pagina/Ganadores%20Congreso%202014/Congreso\\_2014\\_Trabajos%20en%20Extenso%20PDF/1.%20Ciencias%20Biol%C3%B3gicas/2.%20CIN2014A10211.pdf](http://vinculacion.dgire.unam.mx/Congreso-Trabajos-pagina/Ganadores%20Congreso%202014/Congreso_2014_Trabajos%20en%20Extenso%20PDF/1.%20Ciencias%20Biol%C3%B3gicas/2.%20CIN2014A10211.pdf)

[9] Cruz, R., Martínez, Y., López, A. Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales con alternativa de empaque de alimentos. [en línea] . México: Universidad de

las Americas Puebla. 2013. [accedido. 3 de Agosto 2016]. Recuperado : <http://web.udlap.mx/tsia/files/2014/12/TSIA-72-Cruz-Morfin-et-al-2013.pdf>

[10] Gallur, M., Presente y futuro de los biopolímeros como materia de envase. ITENE. [en línea]. Barcelona. 2010. [accedido. 6 de noviembre 2016]. Recuperado : <http://www.easyfairs.com/fileadmin/groups/10/MIRIAM%20GALLUR.pdf>

[11] Troncoso, Omar. Estudios de las propiedades mecánicas de biopolímeros nanoestructurados presentes en la naturaleza. [en línea]. Valencia: Institut de ciencias dels materials. 2014. [accedido. 14 de septiembre 2016 ]. Recuperado: <http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/43021/Tesis%20doctoral%20Omar%20Troncoso%20OK.pdf?sequence=1>

[12] Donoso, J. Biopolímero. [en línea]. Universitat de les Illes Balears. 2006. [accedido 4 de noviembre 2016]. Recuperado : [http://facultatciencies.uib.cat/prof/josefa.donoso/campus/modulos/modulo1/modulo1\\_1.pdf](http://facultatciencies.uib.cat/prof/josefa.donoso/campus/modulos/modulo1/modulo1_1.pdf)

[13] Castillo, Felipe. Materiales y sus propiedades. [en línea]. Facultad de estudios cautila. 2008. [accedido. 1 de diciembre, 2016]. Recuperado : [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m1/materiales\\_1.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/materiales_1.pdf)

[14] Smith, W., Shackerlford. Ensayos Mecánicos. Caracterización y propiedades. [en línea]. 1998. [accedido. 3 de agosto 2016]. Recuperado : [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-iii/Tema-7-Ensayos\\_mecanicos.pdf](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-iii/Tema-7-Ensayos_mecanicos.pdf)

[15] Benavente, R. Efecto del grado de cristalinidad. Materiales poliméricos amorfos y semicristalinos. [en línea]. 2011. [accedido. 3 de agosto 2016]. Recuperado : <http://www2.ictp.csic.es/qf/ppcontrol/bibliografia/D21-Propiedadesmecanicas-RBenavente.pdf>

[16] Gonzalez, M. Propiedades químicas y físicas de polímeros. [en línea]. 1997. [accedido. 3 de agosto 2016]. Recuperado: [http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC\\_32\\_art\\_3.pdf?sequence=1](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC_32_art_3.pdf?sequence=1)

[17] Fabian, V., Conejo, F. Determinación de las condiciones de uso del almidón modificado en el mejoramiento de fórmulas alimenticias. [en línea].Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral (ESPOL). 2006. [accedido. 4 de noviembre 2016]. Recuperado : <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14871/1/Determinacion%20de%20las%20Condiciones%20de%20uso%20de%20almidon.pdf>

[18] IRIS. Maicena. [en línea]. Quito. 2016. [accedido. 4 de noviembre 2016]. Recuperado : <http://www.iris.com.ec/contactenos.php>

[19] Herreria, S & Villegas, F. Módulos de elasticidad y curvas de esfuerzo deformación. [en línea]. Quito. 2008. [accedido 4 de noviembre 2016]. Recuperado file:///C:/Users/Ale/Downloads/T-ESPE-025382.pdf

[20] TECNUN. Propiedades mecánicas. [en línea]. [accedido 4 de noviembre 2016]. Recuperado <http://www4.tecnun.es/asignaturas/pulvimetal/docs/Tema113.pdf>.

[21] Wilson, J., Buffa Anthony. Física Sólidos y Fluidos. Quinta ed. Pearson Ed. México 2003. Pg 305-319  
<https://books.google.com.ec/books?id=KFEvYPsc5IMC&pg=PA307&dq=m%C3%B3dulo+de+elasticidad&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiagZzPpfLQAhVMKCYKHdLgCmAQ6AEIGjAA#v=onepage&q=m%C3%B3dulo%20de%20elasticidad&f=false>

[22] Kane, J., Sternheim, M. Física Propiedades elasticas de los materiales. Segunda ed. 2007. Ed revert. Massachusetts. pg 180-190.  
<https://books.google.com.ec/books?id=lj5kLw2uxGIC&pg=PA185&dq=grafico+de+deformaci%C3%B3n+plastica+y+elastica&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjjuoz5qPLQAhVITSYKHS cTAecQ6AEIJzAC#v=onepage&q=grafico%20de%20deformaci%C3%B3n%20plastica%20y%20elastica&f=false>

[23] Gonzales, Ublado., El maíz y los productos industriales. Ed trillas. 2009. México. Pag 37-50

[24] Allinger, Norman. Almidón. Química Orgánico. Ed Reverte. S.A. 1972. Barcelona. Pag 742-735.

[25] McDougall, John. The starch solution. 2012. Estados Unidos. Pag 33-43

[26] Hibbeler, R.C. Pruebas de Tensión. Mecánica de materiales. Sexta ed. Pag 58-92

[27] George, J., Fisher, A., Vehrs Pat. Tests y pruebas fisicas. 4ta ed. Pag 68-72.

[28] Billmeyer, Fred. Ciencia de los polímeros. [en línea]. 2002. [accedido 4 de noviembre 2016]. Recuperado  
[https://www.google.com.ec/search?q=polimeros&newwindow=1&hl=en&biw=1369&bih=1291&source=lnms&tbn=bks&sa=X&ved=0ahUKEwj95e3so4HRAhUFwVQKHanTB40Q\\_AUICigD](https://www.google.com.ec/search?q=polimeros&newwindow=1&hl=en&biw=1369&bih=1291&source=lnms&tbn=bks&sa=X&ved=0ahUKEwj95e3so4HRAhUFwVQKHanTB40Q_AUICigD)

[29] Gomis, Antonio & Beltrán Maribel. Procesado y propiedades de polímeros. [en línea]. 2002. [accedido 23 de Agosto 2016]. Recuperado  
[https://books.google.com.ec/books?id=jxilUUn4\\_QAC&printsec=frontcover&dq=polimeros&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi9mf3uo4HRAhVrqFQKHVpbCQcQ6AEIMzAD#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover&dq=polimeros&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi9mf3uo4HRAhVrqFQKHVpbCQcQ6AEIMzAD#v=onepage&q&f=false)

[30] Schmid, Steven. Manufactura de los polímeros. [en línea]. 2002. [accedido 16 de diciembre del 2016]. Recuperado  
[https://books.google.com.ec/books?id=gilYI9\\_KKAoC&pg=PA177&dq=polimeros&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi9mf3uo4HRAhVrqFQKHVpbCQcQ6AEIUzAH#v=onepage&q=polimeros&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA177&dq=polimeros&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi9mf3uo4HRAhVrqFQKHVpbCQcQ6AEIUzAH#v=onepage&q=polimeros&f=false)

