

Universidad De San Carlos Guatemala  
Facultad de Ciencias Químicas Y Farmacia



Helena Alejandra Reyna Corado

Química Farmacéutica

Guatemala, Octubre del 2018

Universidad De San Carlos Guatemala  
Facultad de Ciencias Químicas Y Farmacia



Presentado por  
Helena Alejandra Reyna Corado

Para optar al título de  
Química Farmacéutica

Guatemala, Octubre del 2018

## JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M. A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Byron Enrique Pérez Díaz	Vocal IV
Br. Pamela Carolina Ortega Jiménez	Vocal V

## ACTO QUE DEDICO

- A Dios: Por todas sus bendiciones y por permitirme culminar esta importante etapa de mi vida.
- A mis padres: Marco Vinicio y Violeta Argentina, por todo su esfuerzo, dedicación y amor. Por hacer todo lo posible para brindarme a mí y a mis hermanos educación, por enseñarme a luchar por mis sueños y por darme siempre ejemplo de perseverancia y determinación.
- A mis hermanos: Violeta, Jorge y Gabriela, por estar siempre presentes cuando los he necesitado.
- A mi abuelito: Humberto Corado, “Papapeto”, por ser el pilar de mi familia, por darme siempre su incondicional apoyo y sus sabios consejos. Por ser el mayor ejemplo en mi vida de amor, nobleza y superación.
- A mi familia: Por el apoyo brindado.
- A mis catedráticos: Por compartir sus conocimientos y experiencias como profesionales, por su dedicación y profesionalismo.
- A mis amigos: Stephanie Cruz, Laura Hernández, Francisco Salcedo, Javier Fuentes, Fernando Hernández, y demás amigos, por todas las experiencias vividas a lo largo de este camino, por todos los buenos y malos momentos que nos formaron como profesionales, por las convivencias; por su apoyo, ayuda y compañerismo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, institución que me brindó la educación necesaria para desarrollarme como profesional capacitada, además de brindarme los medios que contribuyeron con mi crecimiento intelectual y moral.

A mi asesora, Licda. Julia Amparo García, por brindarme además de su apoyo incondicional, su amistad. Por su ayuda y paciencia en la realización de mi trabajo de tesis.

Al Departamento de Análisis Aplicado por permitirme realizar parte de mi investigación en sus instalaciones.

Al Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), por su ayuda en el análisis de mis muestras y sus conocimientos brindados.

A mi familia, a todos mis amigos, compañeros de clases y de trabajo que en algún momento me brindaron su ayuda y apoyo para la culminación de mi carrera y la realización de este trabajo de tesis.

## INDICE

RESUMEN.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ANTECEDENTES .....	12
<b>Polímeros y su Clasificación</b> .....	12
✓ <i>Clasificación según su origen</i> .....	12
✓ <i>Clasificación según el tipo de reacción</i> .....	13
✓ <i>Clasificación según sus propiedades</i> .....	13
<b>Biodegradabilidad</b> .....	15
<b>Biopolímeros</b> .....	16
✓ Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa .....	17
✓ Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados Aceites vegetales .....	20
✓ Biopolímeros producidos por los organismos directamente Poli(hidroxialcanoatos) .....	21
<b>Goma Xanthán</b> .....	21
<b>Propiedades Mecánicas de Polímeros</b> .....	23
✓ Viscoelasticidad .....	23
✓ Ensayos de tracción.....	25
✓ Ensayos de flexión .....	25
✓ Pruebas de dureza.....	26
<b>Aplicaciones</b> .....	28
<b>Ventajas y desventajas de Biopolímeros</b> .....	29
3. JUSTIFICACIÓN .....	31
4. OBJETIVOS .....	33
5. HIPÓTESIS .....	34
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
6.1 <b>Universo</b> .....	35
6.2 <b>Recursos Humanos</b> .....	35
6.3 <b>Materiales</b> .....	35
6.4 <b>Métodos</b> .....	36
✓ Extracción de almidón a partir de la papa .....	36

✓	Identificación del almidón.....	37
✓	Elaboración del biopolímero a base de almidón de papa .....	37
✓	Elaboración del biopolímero a base de almidón de papa y goma xantán.....	38
✓	Control de calidad del biopolímero .....	38
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>54</b>
<b>11.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>55</b>

## RESUMEN

El propósito de esta investigación fue comparar las características físico-mecánicas y la degradación de un biopolímero elaborado a partir de residuos de papa, *Solanum tuberosum* L. y una mezcla de residuos de papa, *Solanum tuberosum* L. y goma xanthán.

El primer paso de la investigación fue recolectar la materia prima, luego se procedió a realizar la extracción del almidón únicamente de la cáscara de papa *Solanum tuberosum* L. Después se realizó la identificación del almidón mediante la prueba de lugol, para luego realizar su plastificación agregando los aditivos necesarios. Posteriormente, se procedió a realizarle a los biopolímeros las pruebas físico-mecánicas de dureza y tensión, obteniendo mejores resultados por parte del biopolímero elaborado a partir de almidón de papa *Solanum tuberosum* L. y goma xanthán. Se realizaron también pruebas de degradabilidad por intemperie y por agua, determinando de igual manera que la goma xanthán favorece la degradación de los biopolímeros. A pesar, que la goma xanthán si favoreció las características físico-mecánicas de los bioplímeros, la formulación utilizada no logró cumplir con las estándares necesarios para que sean utilizados como material para elaborar bolsas u objetos desechables, ya que al comparar los valores obtenidos de las propiedades físico-mecánicas de las muestras elaboradas a partir de residuos de papa y goma xanthán, con los valores de plásticos que se utilizan generalmente en la industria, los cuales se utilizaron como referencia en esta investigación, quedan muy por debajo de estos, sin embargo se encontraron otras posibles utilidades para estos biopolímeros, como la de fertilización.

Por otra, parte se logró concluir que la goma xanthán es un buen aditivo que mejora la dureza y la tensión del biopolimero, sin impedir su degradabilidad, siendo la degradación por agua más eficiente que la degradación por interperie.

## 1. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo existen enormes depósitos de basura que incluyen toneladas de plásticos que no se degradan por medio de procesos naturales, por lo que sus procesos de degradación y descomposición son bastante largos, lo que favorece a la acumulación de estos residuos (Medina, 2005).

El petróleo es muy utilizado como materia prima para la producción de plásticos, el cual genera severos problemas ambientales como la emisión de gases de invernadero (metano, óxido nitroso y bióxido de carbono) (Medina, 2005).

Debido a la necesidad de disminuir la contaminación ambiental, es como surgen los plásticos biodegradables, dando lugar a una nueva opción para la solución de este problema ambiental, principalmente por las ventajas que presentan ya que son amigables con el medio ambiente y pueden contribuir a la disminución de la contaminación ambiental debido a que son susceptibles de degradarse y son producidos a partir de ingredientes renovables. Además, son potencialmente comestibles por estar formulados con compuestos naturales (Rutiaga, 2002).

La biodegradación es un proceso mediante el cual los microorganismos del suelo, como bacterias y hongos, descomponen en sustancias más sencillas los materiales presentes en él, y es el proceso de estos materiales el cual se produce en un tiempo considerablemente más corto (Medina, 2005).

Los problemas ambientales en el planeta son evidentes, y la urgente necesidad de cambio se ha convertido en uno de los pilares de la investigación. Desarrollando cada día nuevos

materiales que no solo remplacen a los convencionales, sino que no generen contaminación (Cardona, 2004).

Dentro de los polímeros utilizados para la síntesis de bioplásticos se puede mencionar el almidón, este es el carbohidrato más abundante en la naturaleza, es sintetizado durante la fotosíntesis y almacenado en los amiloplastos de la células vegetales. Es un compuesto de almacenamiento que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. Es un polisacárido sintetizado a partir del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que toman las plantas de la atmósfera y del agua que toman del suelo, formado por una mezcla de dos sustancias; amilasa y amilopectina. (Acosta & Velasco,, 2007)

Existen diferentes fuentes de donde se puede extraer el almidón, una de estas es la papa, la cual se sabe que contiene entre 60 y 80% del contenido de materia seca total; y además es producida en Guatemala principalmente en el altiplano occidental, central y oriental. (Azurdía, 2014)

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, la presente investigación tiene como fin comparar un biopolímero a partir de almidón obtenido de residuos de papa (*Solanum tuberosum* L.) y un biopolimero elaborado a partir de estos mismo residuos de papa y goma xanthán, que presenten características similares a las de un polímero sintético realizándole su respectivo control de calidad, el cual podría llegar a ser una alternativa para sustituir al plástico derivado del petróleo que genera graves problemas de contaminación ambiental.

## 2. ANTECEDENTES

### Polímeros y su Clasificación

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes (Beltrán, 2012).

#### ✓ *Clasificación según su origen*

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos.

- Los sintéticos contienen normalmente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten.
- Los naturales o biopolímeros como la celulosa, el Ácido Desoxirribonucleico (ADN) o las proteínas presentan estructuras mucho más complejas (Beltrán, 2012).

Las moléculas que se combinan para formar los polímeros se denominan monómeros y las reacciones a través de las cuales se obtienen se denominan reacciones de polimerización. Cuando se parte de un solo tipo de molécula se habla de homopolimerización y de homopolímero. Cuando son dos o más moléculas diferentes las que se repiten en la cadena se habla de:

- Copolimerización: Formación de la macromolécula durante la polimerización, en donde han intervenido dos o más monómeros.
- Copolímero: Polímero en donde dos tipos diferentes de monómeros están unidos a la misma cadena polimérica.

✓ *Clasificación según el tipo de reacción*

Las reacciones de polimerización se suelen dividir en dos grandes grupos: reacciones de adición y de condensación, y los polímeros obtenidos por cada una de estas vías se conocen como polímeros de adición y polímeros de condensación.

- Polímeros de adición: la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero de partida. El grupo más importante de polímeros de adición corresponde a los formados a partir de monómeros que contienen un doble enlace carbono-carbono, como es el caso, por ejemplo, de la polimerización del policloruro de vinilo (PVC) (Beltrán, 2012).

Dentro de los polímeros de adición también cabe destacar aquellos que se obtienen a partir de monómeros cíclicos, como es el caso del poli óxido de etileno (POE) (Beltrán, 2012).

- Polímeros de condensación se forman a partir de monómeros polifuncionales a través de diversas reacciones con la posible eliminación de alguna pequeña molécula, tal como el agua (Beltrán, 2012).

✓ *Clasificación según sus propiedades*

Además los polímeros se pueden clasificar según sus propiedades en tres grandes grupos como son los termoestables, termoplásticos y elastómeros.

- Los polímeros termoestables, son aquellos que solamente son blandos o "plásticos" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores. Es un material compacto y duro, su fusión no es posible. Insolubles para la mayoría de los solventes, encuentran aplicación en entornos de mucho calor, pues no se ablandan y se carbonizan a

altas temperaturas. Esto se debe a su estructura molecular, de forma reticular tridimensional, que constituye una red con enlaces transversales. La formación de estos enlaces es activada por el grado de calor, el tipo y cantidad de catalizadores y la proporción de formaldehído en el preparado base (Garavito, 2008).

- Los elastómeros son sustancias poliméricas que poseen la particularidad que se pueden deformar en gran medida sin que lleguen a la zona de deformación plástica. Los elastómeros son compuestos químicos cuyas moléculas consisten en varios miles de moléculas llamados monómeros, que están unidos formando grandes cadenas, las cuales son altamente flexibles, desordenadas y entrelazadas. Cuando son estirados, las moléculas son llevadas a una alineación y con frecuencia toman el aspecto de una distribución cristalina, pero cuando se las deja de tensionar retornan espontáneamente a su desorden natural, un estado en que las moléculas están enredadas. Esta forma de volver a su estado natural de desorden distingue a los elastómeros de los polímeros termoestables, los cuales son duros y frágiles. Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el poliisobutileno y los poliuretanos (Garavito, 2008).
- Las resinas termoplásticas son fácilmente conformables al aplicarles temperatura y presión. La temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados son bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión, usualmente alrededor de la mitad de la temperatura de fusión correspondiente. Variaciones en los esfuerzos mecánicos, es decir fatiga, o

condiciones ambientales pueden reducir los márgenes de resistencia del material. Otra característica de estos materiales es su tendencia a absorber agua, ya sea del ambiente o por inmersión (Garavito, 2008).

### **Biodegradabilidad**

Biodegradable es la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular) y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos (Guerra, 2008).

La biodegradación puede emplearse en la eliminación de ciertos contaminantes como los desechos orgánicos urbanos, papel, hidrocarburos, etc. No obstante en vertidos que presenten materia biodegradable estos tratamientos pueden no ser efectivos si nos encontramos con otras sustancias como metales pesados, o si el medio tiene un pH extremo. En estos casos se hace necesario un tratamiento previo que deje el vertido en unas condiciones en la que las bacterias puedan realizar su función a una velocidad aceptable (Guerra, 2008).

La biodegradabilidad ha sido definida como la capacidad intrínseca de una sustancia a ser transformada en una estructura química más simple por vía microbiana (Guerra, 2008).

Las bacterias y hongos degradan complejas sustancias orgánicas e inorgánicas, algunas en condiciones aerobias y otras en condiciones anaeróbicas. El grado y tipo de crecimiento microbiano depende de los factores que controlan su crecimiento: Presencia de nutrientes suficientes, disponibilidad de humedad y para organismos aerobios de aire, temperatura y pH idóneos. La biodegradabilidad también depende de la complejidad del compuesto a

degradar y del microorganismo utilizado. No todos los microorganismos son capaces de degradar todo tipo de compuestos. Hay incluso microorganismos especializados para cada tipo de sustancias (Guerra, 2008).

### **Biopolímeros**

Un biopolímero se conoce como el material biodegradable desarrollado a partir de recursos naturales, compuesto por: amilosa, disolvente, plastificante y fijador de moléculas, constituyéndose de esta forma en un material que puede ser destruido por microorganismos y así, ser convertido en abono.

Los materiales biodegradables están propuestos para desprender componentes que puedan tener sus beneficios para toda la naturaleza como agentes fertilizantes de suelo, depuradores de agua y purificadores de aire (Waste, 2008).

Los productos biodegradables son hechos con materias orgánicas renovables, esto quiere decir que no se pierde ninguna fuente importante para el medio ambiente y tampoco se expone a contaminación con los mismos ya que los componentes regresarían a su mismo hábitat y servirían como fertilizante para que se pueda producir más material para la producción (Waste, 2008).

Los biopolímeros se dividen en aquellos basados en recursos renovables y degradables que cumplen todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. Los primeros no son necesariamente biodegradables o compostables, aunque la mayoría lo son. Los del segundo grupo, no necesariamente tienen que estar basados en materias primas renovables para

cumplir la norma, ya que la biodegradabilidad está más directamente relacionada con la estructura química que con el origen de las materias primas (Valero, 2013)

El término biodegradación en el campo de los polímeros hace referencia al ataque de microorganismos a estos materiales, proceso a través del cual se obtiene la desintegración del polímero en pequeños fragmentos debido a la ruptura de enlaces en su cadena principal.

La biodegradación de plásticos generalmente es un proceso complejo. Debido al tamaño molecular de los polímeros y a su falta de solubilidad en agua, los microorganismos no son capaces de transportar el material polimérico a sus células donde la mayoría de procesos bioquímicos tienen lugar, por lo que inicialmente excretan enzimas extracelulares que depolimerizan el material fuera de las células. Los productos finales de este proceso metabólico son agua, dióxido de carbono, metano (biodegradación anaerobia) y materia orgánica (Valero, 2013)

Los biopolímeros se pueden clasificar según su fuente, de las cuales se analizarán los biopolímeros más importantes del mercado divididos en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxialcanoatos (PHA)). Existen otros polímeros basados en recursos renovables pero con mucho menor potencial en el mercado (Valero, 2013).

#### ✓ **Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa**

Biopolímeros basados en almidón: Entre los productos de base biológica, la mayor parte de la investigación se ha hecho sobre el almidón. Está formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal y la amilopectina es una molécula ramificada. Los almidones más comunes contienen alrededor del 25% de

amilosa y 75% de amilopectina. El 75% de los polímeros de almidón se utilizan para la fabricación de envases y embalajes. El 50% de ellos están constituidos por mezclas de almidón con otros polímeros basados en petroquímica. Las mezclas de almidón con poliésteres alifáticos mejoran su procesabilidad y biodegradabilidad, para ello, los poliésteres más adecuados son policaprolactona (PCL) y poliésteres alifáticoaromáticos. Estas mezclas se utilizan para fabricar láminas y películas de alta calidad para embalaje. Schroeter y colaboradores estudiaron el efecto del almidón como relleno en sistemas de policaprolactona. El módulo de elasticidad del sistema policaprolactona/ almidón se incrementó con el aumento del contenido de almidón (Valero, 2013).

El almidón también ha sido utilizado como agente reforzante en elastómeros de poliuretano (PU). Desai y colaboradores utilizaron el almidón como agente entrecruzante en elastómeros de poliuretano. Seung-Kyu incorporó gránulos de almidón en un sistema de poliuretano. En dichos trabajos, se adicionó almidón de yuca al aceite de higuera y polioles derivados, con el fin de incrementar la funcionalidad del aceite mediante la incorporación de gránulos de almidón de yuca debido a los grupos hidroxilo presentes en la estructura del almidón. Se determinó que el principal efecto del almidón es reforzante. Se identificó la separación de fases entre el gránulo de almidón y la matriz de poliuretano. Se destaca que en este trabajo se logró cuantificar el efecto reforzante del almidón en función de la suspensión utilizada en la síntesis del PU: la adición de almidón incrementa el esfuerzo de ruptura y el módulo de elasticidad del material, resultado del entrecruzamiento físico formado por los enlaces de hidrógeno (a través de los grupos hidroxilo presentes en el almidón). El efecto reforzante del almidón disminuye con la formación de agregados (Valero, 2013)

El almidón es un polímero con alto potencial de utilización en la síntesis de materiales biodegradables. Sin embargo, su uso tiene limitaciones debido a su baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos. Por consiguiente, se han investigado estrategias para superar estas limitaciones incluyendo la modificación de la estructura del almidón, mezclas con otros polímeros biodegradables, uso de compatibilizantes para mejorar la adhesión interfacial entre el almidón y el polímero y la adición de fibras o arcillas reforzantes (Valero, 2013).

El almidón termoplástico (TPS) es esencialmente almidón modificado por la adición de plastificantes y procesado bajo condiciones de presión y calor hasta destruir completamente la estructura cristalina del almidón y formar un almidón termoplástico amorfo. Frente a los polímeros plásticos corrientes, el almidón termoplástico presenta desventajas tales como: su solubilidad en agua, alta higroscopicidad, envejecimiento rápido debido a la retrogradación y bajas propiedades mecánicas, lo cual limita algunas aplicaciones tales como empaque. Estos problemas se han reducido cuando se incorporan en la matriz termoplástica rellenos naturales como fibras celulósicas que sirven como material de refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas (Valero, 2013).

En un estudio realizado en Guatemala (2013) por Iguardia Arrivillaga, Carlos Humberto se elaboró un polímero a base de almidón extraído de banano verde, en donde se determinó que una de las formulaciones realizadas proporcionó un material poco duro, medianamente maleable y flexible así como altamente degradable; características que lo convierten en un material útil para aplicaciones industriales como la fabricación de materiales de empaque, bolsas y cajas, así como para la fabricación de materiales de uso cotidiano como platos, vasos y cubiertos.

Se realizó un estudio en Ecuador (2012) por Valarezo Ulloa, María José, en donde se determinó que la utilización de materiales de desecho como son las cortezas de papa o de yuca, representan una elevada fuente de almidón, a partir del cual se puede elaborar biopolímeros que presentan propiedades similares a los plásticos y pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de diversos artículos.

En la actualidad hay mucha investigación básica y aplicada sobre el almidón, por ser un polímero natural barato y abundante. El desarrollo y producción de almidón termoplástico biodegradable (Thermoplastic starch, TPS), se considera importante para reducir la cantidad total de desechos plásticos sintéticos en el mundo (Villada, 2008).

✓ **Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados Aceites vegetales.**

Hoy en día los aceites vegetales son una de las fuentes más importantes en la síntesis de biopolímeros. Los aceites vegetales pueden ser obtenidos de plantas y, en su mayoría, están compuestos por triglicéridos. Un triglicérido es un producto éster obtenido de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos. Los triglicéridos son moléculas altamente funcionales, y, por lo tanto, se han utilizado en la síntesis de polímeros reticulados a través de dos estrategias principales. La primera, es aprovechar los grupos funcionales presentes en los triglicéridos, tales como dobles enlaces internos, alcoholes, o epóxidos, que se pueden polimerizar usando diferentes métodos. La segunda estrategia depende de modificaciones químicas antes de la polimerización. Este enfoque resuelve el inconveniente de la baja reactividad de triglicéridos naturales mediante la introducción de grupos funcionales fácilmente polimerizables. Entre los aceites de triglicéridos que se utilizan en la

preparación de biopolímeros se encuentran el de linaza, girasol, higuera, soja y palma. Dado que los aceites vegetales varían ampliamente en sus propiedades físicas y químicas en función de los ácidos grasos de su estructura, la elección del aceite vegetal juega un papel importante en las propiedades del polímero. Algunos tipos de polímeros preparados a partir de aceites de triglicéridos se enumeran a continuación: poliésteres, poliuretanos, poliamidas, resinas acrílicas, resinas epoxi y poliéster amidas (Valero, 2013).

✓ **Biopolímeros producidos por los organismos directamente  
Poli(hidroxicanoatos)**

Los biopolímeros de tipo polihidroxicanoato son poliésteres sintetizados por ciertas bacterias que los acumulan como reservas de carbono y energía, en forma de gránulos intracitoplasmáticos, constituidos por unidades repetitivas de diversos hidroxiácidos o mezclas de ellos, producidos mediante fermentación de materias primas renovables. Mientras la producción de poli(ácido láctico) es un proceso de dos etapas (fermentación para obtener el monómero seguida de un paso convencional de polimerización química), los PHA son producidos directamente mediante fermentación de una fuente de carbono por parte del microorganismo. Los PHAs son sustitutos atractivos de los poliésteres de origen petroquímico, dado que en la naturaleza, los microorganismos son capaces de degradarlos hasta CO<sub>2</sub> y agua, en condiciones aerobias, y hasta metano, en condiciones anaerobias, por acción de las enzimas PHA despolimerasas y PHA hidrolasas (Valero, 2013).

**Goma Xanthán**

La Goma Xanthan es un polisacárido natural de alto peso molecular. Es industrialmente producido por la fermentación de cultivos puros del microorganismo *Xanthomonas campestris*. El microorganismo es cultivado en un medio bien aireado que contiene

carbohidratos como fuente de nitrógeno, y trazas de elementos esenciales. El cultivo de *Xanthomonas campestris* es rigurosamente controlado en sus diferentes etapas de fermentación, el caldo se esteriliza para prevenir la contaminación bacteriana, y la goma xanthan se recupera mediante precipitación con alcohol, secado y su posterior molienda hasta convertirla en polvo fino. . Está constituida por una estructura básica celulósica con ramificaciones de trisacáridos. (Pasquel, 2001)

Es completamente soluble en agua fría o caliente y produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones, además de poseer una excelente estabilidad al calor y pH, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia entre 0 y 100°C y 1 a 13 de pH. (Pasquel, 2001)

Dada sus características estructurales, cuenta con propiedades reológicas y de estabilidad importantes, que garantizan un amplio espectro de uso en calidad de agente espesante, de suspensión, texturizante, etc., durante la formulación de alimentos, fármacos, cosméticos, agroquímicos, entre otros. (Aguilar, 2005)

Soluciones de Goma Xanthan son muy pseudo-plásticas, característica muy importante en la estabilización de suspensiones y emulsiones. Cuando una fuerza de corte es aplicada, la viscosidad se reduce en proporción directa a la fuerza de corte aplicada. Las operaciones de mezclado, bombeado y vertido de las soluciones se facilitan de esta manera requiriéndose gastos mínimos de energía para estos procesos. Cuando la fuerza de corte se detiene, la viscosidad aparente se recupera de inmediato. (Pasquel, 2001)

Se ha determinado que la adición de goma xantana a biopelículas produce un efecto positivo en las propiedades mecánicas ya que presentan una mayor resistencia a la ruptura y más estabilidad. (Domínguez, 2012)

La goma xantán presenta un comportamiento reológico adecuado para la formación de biopelículas o bioplásticos. Además, la adición de goma xantán origina una red polimérica compacta, debido a un entrecruzamiento dentro de la matriz, resultando así un leve incremento en los valores del espesor del plástico. (González, 2017)

Se han obtenido resultados realmente prometedores, que sugieren la posibilidad de utilizar combinaciones terciarias de goma Xantana y goma Gelana, para ser considerado como una fuente de empaque biodegradable para aplicaciones alimentarias. (González, 2017)

Se han presentado resultados prometedores en el uso de gomas e hidrocoloides solubles en agua (carragenina, goma de algarrobo, xhantan, agar, alginatos, goma guar, goma arábica y pectina) que no presenten trazas de proteína o de gelatina en su composición. Pueden incluirse en un rango de 0,05 % a 15 % del total de sólidos de la mezcla. Mediante estudios se ha notado un incremento en la resistencia a la tensión de las películas que incluyeron gomas respecto a las que no. (Enríquez, 2012)

Por último, se ha determinado que al mezclar diferentes concentraciones de almidón con goma xantán sola o junto con otras gomas, se obtiene una mayor resistencia y una mayor flexibilidad que al utilizar únicamente almidón. (Barreda, 2016)

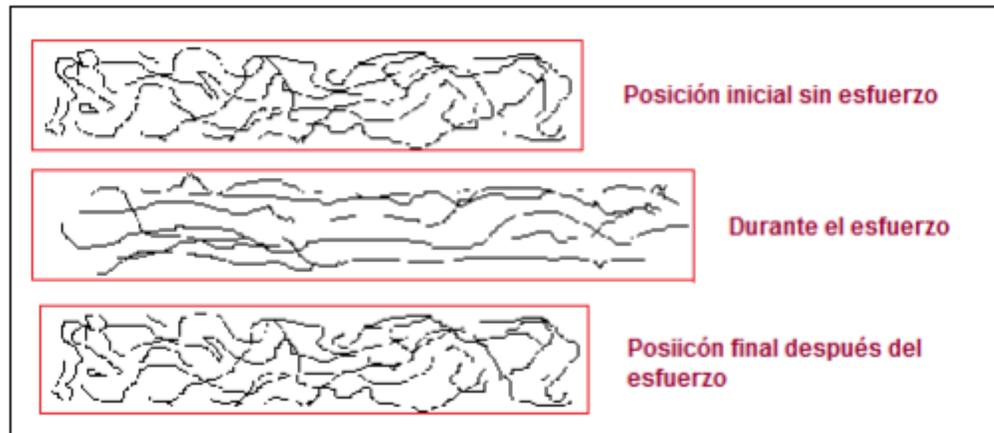
### **Propiedades Mecánicas de Polímeros**

#### ✓ Viscoelasticidad

Un material visco elástico es un material que presenta tanto propiedades viscosas como elásticas. Esto implica que al someter al polímero a un esfuerzo que le provoque deslizamiento (lento), las cadenas del material tandearán a deslizarse fácilmente (como un

flujo viscoso) y si dicho esfuerzo es eliminado las propiedades elásticas hacen que las cadenas del material vuelvan a su posición inicial (Garavito, 2008).

### Imagen No.1 Movimiento de las cadenas del polímero



Fuente: (Garavito, 2008)

Los plásticos se encuentran sometidos a diferentes estados de carga en sus distintas aplicaciones, por lo que la selección del material adecuado para cada una de ellas se basa, entre otras consideraciones, en sus propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de los polímeros dependen, fundamentalmente, de su composición, estructura y condiciones de procesado (Beltrán M. y., 2012).

Precisamente debido al carácter viscoelástico de los plásticos, el comportamiento de estos materiales cuando se les aplica un esfuerzo a velocidad elevada no puede extrapolarse para aplicaciones en las que la carga se aplica durante periodos prolongados de tiempo (Beltrán M. y., 2012).

La respuesta de un material puede ser muy diferente dependiendo del tipo de esfuerzo al que se vea sometido. Dentro de los ensayos a corto plazo, en los que no se tiene en cuenta el tiempo de aplicación del esfuerzo, se verá el comportamiento de los materiales cuando se aplican esfuerzos en tracción, flexión, compresión e impacto (Beltrán M. y., 2012).

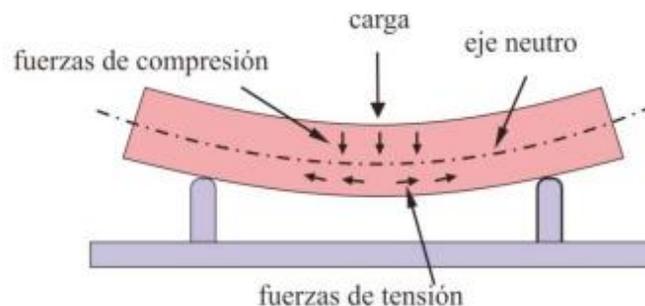
#### ✓ **Ensayos de tracción**

Los ensayos de tracción son una medida de la respuesta de un material ante una fuerza que tiene a estirarlo. De estos ensayos se suele obtener información sobre la resistencia a la tracción, elongación y módulo (Beltrán M. y., 2012).

#### ✓ **Ensayos de flexión**

La resistencia a la flexión de un material es su capacidad para soportar fuerzas aplicadas en su eje longitudinal. Los esfuerzos inducidos por una carga de flexión son realmente una combinación de esfuerzos de tracción, compresión y cizalla. Las propiedades de flexión se calculan referidas al esfuerzo y deformación que se producen en la superficie externa de la probeta empleada (Beltrán M. y., 2012).

**Imagen No.2 Fuerzas implicadas en los ensayos de flexión.**



Fuente: (Beltrán M. y., 2012)

El método más empleado para realizar ensayos de flexión consiste en un sistema de tres puntos de carga. En este una porción de material de sección rectangular se apoya en dos soportes y la carga la realiza un puntero o pesa situado entre los soportes (Beltrán M. y., 2012).

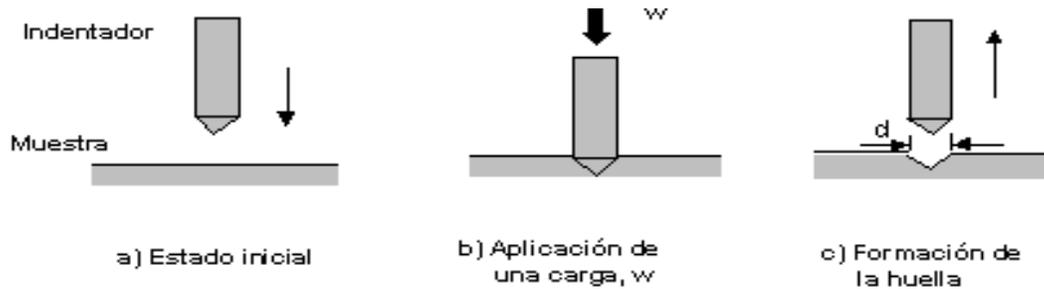
### ✓ **Pruebas de dureza**

La dureza es una condición de la superficie del material, no representa ninguna propiedad de la materia y está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas del material. Si bien, es un término que nos da idea de solidez o firmeza, no existe una definición única acerca la dureza y se la suele definir arbitrariamente en relación al método particular que se utiliza para la determinación de su valor. De esta manera algunas definiciones son :

- Resistencia a la indentación permanente bajo cargas estáticas o dinámicas (dureza por penetración)
- Absorción de energía bajo cargas de impacto o dinámicas (dureza por rebote)
- Resistencia a la abrasión (dureza por desgaste)
- Resistencia al rayado (dureza por rayado)

Independientemente de las definiciones enumeradas, en general, se entiende por dureza la propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador<sup>1</sup> bajo carga. En este sentido definiremos dureza como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. Los diferentes métodos desarrollados para medir la dureza en general consisten en producir una deformación local, en el material que se ensaya, a través de un indentador (Beltrán M. y., 2012).

## Imagen



Fuente: <http://www.icmm.csic.es/fis/espa/nanoindentacion1.html>

Los diferentes métodos utilizados para obtener los valores de dureza se pueden clasificar en dos grandes grupos según la forma de aplicación de la carga:  $f$

- Ensayos estáticos: en los que la carga se aplica en forma estática o cuasi-estática. En este caso un indentador se presiona contra la superficie de ensayo con una carga que

1. Indentador: Especie de punzón o penetrador usado para determinar la dureza del material.

se aplica en forma relativamente lenta. En general la medida de dureza en este tipo de ensayo resulta del cociente de la carga aplicada y el área de la huella que deja el indentador en la superficie, como es el caso de los métodos Brinell, Vickers y Knoop, o bien es una medida de la profundidad de la penetración como en el ensayo Rockwell (Beltrán M. y., 2012).

- Ensayos dinámicos en los que la carga se aplica en forma de impacto. En general el indentador es lanzado sobre la superficie a ensayar con energía conocida y el valor de dureza se obtiene a partir de la energía de rebote del penetrador luego de impactar

en la muestra, como sucede en el método de Shore y en el de Leeb, ambos conocidos como métodos de dureza por rebote (Beltrán M. y., 2012).

### **Aplicaciones**

Para fabricar productos de almidón termoplástico, primero ha de destruirse la estructura cristalina del almidón, mediante presión, calor o medios mecánicos. El almidón por si sólo presenta aplicaciones limitadas ya que es muy soluble en agua, difícil de procesar y frágil. La adición de agentes plastificantes (agua, glicerol, poliéter, urea...) permite su procesado por extrusión, inyección o moldeo, ya que reduce su temperatura de transición vítrea y disminuye considerablemente la degradación, pudiéndose obtener de este modo materiales blandos o rígidos en función del nivel de plastificación (Hidalgo, 2011).

Las aplicaciones del almidón termoplástico son generalmente películas para bolsas y películas para mantillo. Los materiales espumados son una aplicación importante como sustitutos del poliestireno espumado en materiales de relleno para embalaje, bandejas y platos desechables. Los materiales espumados basados en almidón son relativamente fáciles de fabricar. El proceso consiste en la extrusión a alta cizalla y a temperatura superior al punto de ebullición del agua (150-180°C) de una mezcla de almidón con un 25-50% de agua. En estas condiciones, el almidón se rompe, pierde su cristalinidad y se plastifica con el agua formándose una masa amorfa homogénea. A la salida de la extrusora el agua se expande vaporizándose el cambio brusco de presión, con lo que se forma la el material espumado. Normalmente, también se añaden agentes plastificantes como el glicerol y otros polímeros tales como poli(alcohol vinílico)(PVA), que imparten propiedades más uniformes entre lotes de fabricación.

## **Ventajas y desventajas de Biopolímeros**

### VENTAJAS

- En cuanto a su degradación, esta cumple un papel importante en la conservación bacteriana en condiciones de baja concentración de nutrientes. Su degradación está entre 1 a 6 meses.
- Al ser termoplásticos, poseen propiedades que son similares a las de los plásticos derivados del petróleo.
- Llegan a ser degradados en su totalidad por las bacterias que los producen, y por otras bacterias, hongos y algas.
- Son producidos a partir de recursos renovables.
- Se utilizan productos derivados de la agricultura como fuente de carbono.
- Para su producción, no es necesaria gran cantidad de agua ni de uso energético.
- Con la producción de bioplásticos, se reduce la necesidad de tala de árboles.
- Los bioplásticos no generan residuos. (Fernández, 2015)

### DESVENTAJAS

- Siendo numerosas las ventajas de los bioplásticos, la principal desventaja que poseen es el costo de producción y el precio, que se considera un 20% mayor que el de los plásticos convencionales derivados del petróleo. (Cruz-Morfin, 2013)

Los bioplásticos son igualmente resistentes y versátiles que los plásticos convencionales, los bioplásticos, de origen natural y por lo tanto completamente degradables, ya han

encontrado aplicaciones en numerosos sectores, como la agricultura, la industria textil, la medicina y, sobre todo, el mercado de los envases y embalajes; ayudando de esta manera a disminuir la contaminación del medio ambiente.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los plásticos son materiales sintéticos derivados generalmente del petróleo. Actualmente estos materiales han sido ampliamente usados por sus diferentes propiedades, como la facilidad para ser moldeados, su impermeabilidad, su bajo costo, etc. Al incorporarse el plástico a la vida cotidiana, una parte considerable de los desechos producidos comenzó a acumularse en el ambiente, precisamente por la resistencia de los plásticos a la corrosión, la intemperie y la degradación por microorganismos (biodegradación). Anualmente se producen varios millones de toneladas de plásticos a nivel mundial (Espín, 2007).

La degradación de los plásticos sintéticos es muy lenta, ya que puede llegar a tardar hasta 500 años. Mientras que la descomposición de productos orgánicos tarda entre 3 a 4 semanas (Espín, 2007).

A nivel mundial el principal impacto ambiental de los residuos plásticos es la contaminación de los océanos y mares. Se han encontrado cantidades substanciales de plásticos contaminando los hábitats marinos. El bajo peso del plástico, que es una ventaja en las etapas de su distribución y consumo, se convierte en una problemática ambiental cuando estos navegan por corrientes subterráneas, ríos, mares y océanos. (Téllez, 2012)

Los problemas ambientales en el planeta son evidentes, y la urgente necesidad de cambio se ha convertido en uno de los pilares de la investigación. Desarrollando cada día nuevos materiales que no solo reemplacen a los convencionales, sino que no generen contaminación (Cardona, 2004).

Es por ello que el uso de materiales que sean biodegradables es de suma importancia, ya que estos son fabricados con materiales provenientes de recursos renovables que a la hora

de ser desechados no causan el mismo problema que los plásticos tradicionales, esto se debe a que los biopolímeros se degradan mucho más rápido. Dentro de los recursos renovables podemos encontrar el almidón de papa, que además de ser un material biodegradable que ayudará a la disminución de la contaminación ambiental, es un material que se produce y exporta en gran abundancia en el país, por lo que uno de los fines del estudio es utilizar los desechos generados por las industrias productoras de alimentos que utilizan papa, y así, de esta manera poder aprovechar al máximo este material.

Sin embargo, se ha determinado en varios estudios que el almidón de papa no proporciona la resistencia necesaria para producir un plástico, por lo que se desea comparar un biopolímero elaborado con almidón de papa y otro al que se le añade goma xantán.

La goma xantán es producida por *Xanthomas campestris* a través de fermentación aeróbica, por lo que también es un material biodegradable y se ha determinado que presenta un comportamiento reológico adecuado para la formación de polímeros. Por lo tanto, se espera obtener un polímero con mayor resistencia y mejores características físico-mecánicas.

## 4. OBJETIVOS

- *Objetivo General*

- ✓ Comparar dos biopolímeros, uno a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), otro a partir de almidón de papa y goma xantán.

- *Objetivos Específicos*

- ✓ Identificar la presencia de almidón extraído de la cáscara de la papa.
- ✓ Sintetizar un biopolímero a partir del almidón de papa.
- ✓ Describir las características de calidad del biopolímero elaborado, a partir de pruebas físico-mecánicas.
- ✓ Determinar el porcentaje de degradación del polímero mediante pruebas fisicoquímicas.
- ✓ Comparar las características físico-mecánicas del biopolímero elaborado con almidón de papa y el biopolímero sintetizado con almidón de papa y goma xantán.

## **5. HIPÓTESIS**

El polímero de almidón de papa con goma xanthán es más resistente que el polímero sintetizado únicamente con almidón de papa.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Universo

**6.1.1 Población:** Residuo de papa de la especie *Solanum tuberosum* L.

**6.1.2 Muestra:** Almidón extraído del residuo de la papa.

### 6.2 Recursos Humanos

- ✓ Tesista: Br. Helena Alejandra Reyna Corado
- ✓ Asesora: Licda. Julia Amparo García Bolaños
- ✓ Revisor: Lic. Julio Gerardo Chinchilla Vettorazzi

### 6.3 Materiales

#### Equipo

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Balanza semianalítica
- ✓ Estufa eléctrica
- ✓ Horno de secado
- ✓ Licuadora
- ✓ Durómetro
- ✓ Termómetro
- ✓ Varilla de agitación
- ✓ Beackers
- ✓ Moldes

## **Reactivos**

- ✓ Almidón de papa
- ✓ Ácido acético
- ✓ Glicerina
- ✓ Agua destilada
- ✓ Lugol

## **6.4 Métodos**

### ✓ **Extracción de almidón a partir de la papa**

La extracción de almidón se realizará a nivel de laboratorio mediante un proceso manual, Se seguirán los siguientes pasos:

- Recolección: se recolectarán los residuos de las papas, que en este caso será la cáscara de las papas peladas utilizadas como alimento.
- Lavado de las cortezas: Se realizará con agua fría, conjunto a un cepillo se procederá a eliminar todas las impurezas (lodo, pajas, piedras, etc.)
- Licuado o Rayado de las cortezas: Consiste en licuar las cortezas para reducir su tamaño. Esta operación se realizará mediante una licuadora.
- Filtrado: Una vez reducido el tamaño de las cortezas, se filtrará la mezcla obtenida mediante un filtro de tela (lienzo). Esta acción se repetirá tres veces hasta que el agua de lavado deje de presentar un color blanquecino.

- Sedimentación: Toda el agua de lavado se dejará en reposo en baldes plásticos durante 60min.
- Decantación: Se eliminará el agua que se encuentre en la parte superior del recipiente, al sedimento se le añadirá más agua limpia y se dejará precipitar. Esta operación se realizará tres veces hasta que el agua sobrenadante quede completamente clara.
- Secado: El precipitado se secará en estufa a 40° C.
- Tamizado: Se procederá a desintegrar todos los grumos formados durante el proceso desecado mediante un molino.

✓ **Identificación del almidón**

Identificar por medio de las pruebas de identificación de almidón según la USP NF25 las cuales consisten en:

- Suspender 1 g de almidón en 50 mL de agua, hervir por 1 minuto, y enfriar: un delgado y opaco mucílago se forma.
- Para 1 mL del mucílago obtenido en la prueba de identificación anterior, adherir 0.05 mL de yodo y yoduro de potasio TS : Un color rojo-naranja a un azul oscuro es producido, el cual desaparece en calentamiento.

✓ **Elaboración del biopolímero a base de almidón de papa**

El almidón obtenido de las cortezas de papa, será mezclado con la glicerina y agua destilada hasta lograr una pasta uniforme, es decir que no quede ningún grumo sobrenadando o harina en los bordes. Una vez que la mezcla esté hecha, se añadirá ácido acético y se calentará con agitación constante hasta finalizar el proceso. Se controlará la

temperatura, la cual no debe sobrepasar los 69°C. Una vez obtenido el biopolímero con ayuda de una espátula, se colocará el producto final sobre los moldes y se dejará secar en la estufa a 40°C hasta que alcance una humedad del 10%.

Las proporciones de la mezcla serán de: 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético.

✓ **Elaboración del biopolímero a base de almidón de papa y goma xanthán**

El almidón obtenido de las cortezas de papa, será mezclado con la glicerina y agua destilada hasta lograr una pasta uniforme. Se agregará el 5% p/v de la goma xantana bajo agitación constante a una temperatura de 70° durante 10 minutos ajustando el pH a 4.0 con glucono  $\delta$  lactona. El secado se realizará en estufa a 30 °C durante 45 horas aproximadamente asegurando uniformidad.

✓ **Control de calidad del biopolímero**

*Determinación de pruebas fisicoquímicas preliminares*

- Dureza: Cortar piezas (2x2x2 cm) de cada muestra y someterlas a penetración por parte del punzón del durómetro hasta que la muestra ceda o las fibras exteriores se fragmenten. Apuntar la lectura que marca el durómetro.
- Elongación: Colocar la muestra en un soporte luego colocar varias pesas a las muestras y medir la longitud que se desplazó la muestra con cada pesa y calcular el % de elongación con la siguiente fórmula:

$\% \text{ de elongación} = [(longitud \text{ final} - longitud \text{ inicial}) / longitud \text{ inicial}] \times 100$

- Flexión: Colocar la muestra en dos soportes separados entre sí. Colocar varias pesas en el centro de la muestra hasta que las fibras exteriores se fragmenten o se rompan, medir que distancia se desplazó la muestra con cada pesa.

### ***Pruebas de Biodegradabilidad***

Someter cada formulación a dos pruebas de biodegradabilidad. Realizar dichas pruebas a temperatura ambiente con una duración de 30 días.

- Degradabilidad en intemperie: Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes sin tapa, colocar los recipientes en un lugar que se encuentre al aire libre. Dejar ahí por 30 días y después pesar las muestras con una balanza analítica. Obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la siguiente fórmula:  $100 - [(peso \text{ final} / peso \text{ inicial}) * 100]$
- Degradabilidad por agua: Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes apropiados, llenar los recipientes con agua hasta superar la superficie de las muestras. Tapar los recipientes y dejar en reposo absoluto (sin moverse) por 30 días, después de transcurrido este tiempo pesar las muestras con una balanza analítica y obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la siguiente fórmula:  $100 - [(peso \text{ final} / peso \text{ inicial}) * 100]$

## 7. RESULTADOS

Se realizó la extracción de almidón a 4 lotes de residuos de papa *Solanum tuberosum* L para su posterior identificación, la cual se realizó mediante la prueba de lugol. En la tabla No.1 se puede observar los resultados obtenidos en la prueba de dicha identificación, en donde se obtuvo un cambio al color azul en las muestras, indicativo que el lugol reaccionó con la amilosa presente en el almidón, obteniendo de esta manera un resultado positivo para la prueba de identificación.

**TABLA No.1 IDENTIFICACIÓN DE ALMIDÓN**

<b>Lote</b>	<b>Coloración antes de agregar lugol</b>	<b>Coloración después de agregar lugol</b>	<b>Resultado</b>
<b>Lote 1</b>	Crema	Azul	Positivo (+)
<b>Lote 2</b>	Crema	Azul	Positivo (+)
<b>Lote 3</b>	Crema	Azul	Positivo (+)
<b>Lote 4</b>	Crema	Azul	Positivo (+)
<b>Lote 5</b>	Crema	Azul	Positivo (+)

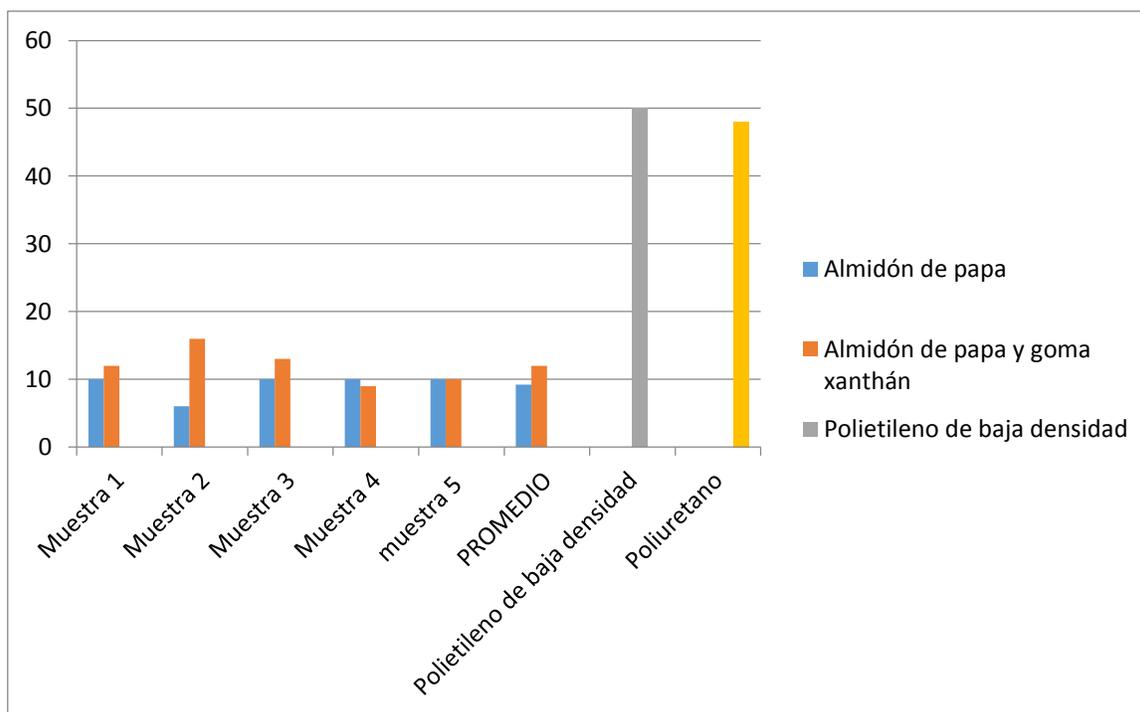
Posteriormente se procedió a plastificar el almidón extraído según la metodología establecida y se obtuvieron dos formulaciones una elaborada con almidón de papa y otra a la cual se le añadió goma xanthán. Luego se caracterizaron ambas formulaciones mediante dos pruebas fisicoquímicas dureza y tensión, ya que la elongación no fue posible elaborarla en ninguna de las dos muestras. En la tabla No. 2 se puede observar los resultados obtenidos en la prueba de dureza de ambas formulaciones.

**Tabla No. 2 PRUEBA DE DUREZA SHORE**

No.	Resultado polímero a base de almidón de papa	Resultado polímero a base de almidón de papa y goma xanthán	Polietileno de baja densidad	Poliuretano
1	10	12	50 <sup>1</sup>	48 <sup>1</sup>
2	06	16		
3	10	13		
4	10	9		
5	10	10		
<b>Promedio</b>	9.2	12		

1. Datos obtenidos de bibliografía consultada. (Marcilla, 2008)

**GRÁFICA No. 1 PRUEBA DE DUREZA SHORE**



El polietileno de baja densidad es un polímero termoplástico, utilizado muy comúnmente para la elaboración de objetos plásticos desechables. El poliuretano es un plástico utilizado principalmente como aislante térmico y acústico, además de ser un polímero con una alta gama de aplicaciones. En esta investigación se incluyeron sus valores de dureza Shore y de tensión para tomarlos como una referencia y poder compararlos con los valores obtenidos en los polímeros elaborados, y de esta manera poder concluir si tienen alguna posible utilidad.

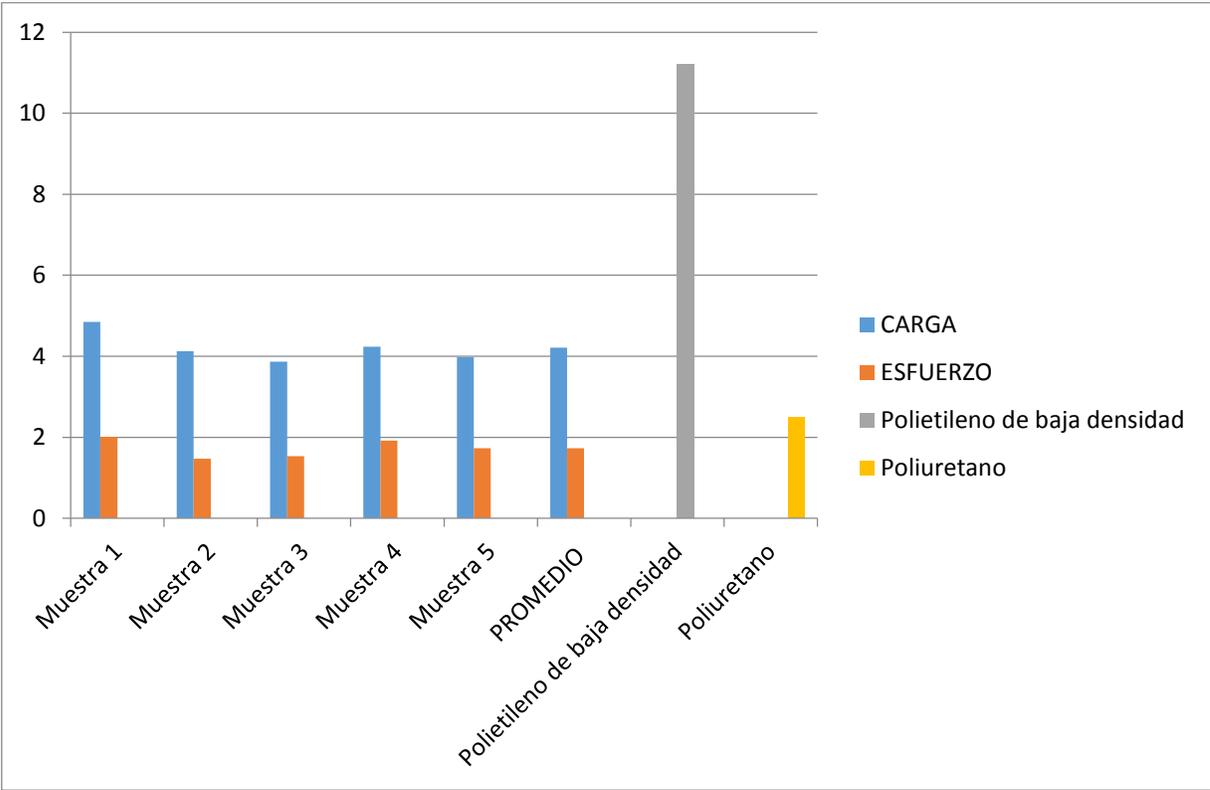
**Tabla No.3 PRUEBA DE TENSIÓN DEL BIOPOLÍMERO A BASE DE ALMIDÓN DE PAPA Y GOMA XANTHÁN**

No	Resultado polímero a base de almidón de papa		Resultado polímero a base de almidón de papa y goma xanthán		Polietileno de baja densidad	Poliuretano
	Carga	Esfuerzo	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
1	N/P <sup>2</sup>	N/P <sup>2</sup>	4.846	2.01	11.2 <sup>3</sup>	2.5 – 4.3 <sup>3</sup>
2	N/P <sup>2</sup>	N/P <sup>2</sup>	4.128	1.47		
3	N/P <sup>2</sup>	N/P <sup>2</sup>	3.868	1.53		
4	N/P <sup>2</sup>	N/P <sup>2</sup>	4.238	1.92		
5	N/P <sup>2</sup>	N/P <sup>2</sup>	3.976	1.73		
<b>PROMEDIO</b>	N/P <sup>2</sup>	N/P <sup>2</sup>	4.2112	1.732		

2. No procede

3. Datos obtenidos de bibliografía consultada. (Marcilla, 2008)

**GRÁFICA No.2 PRUEBA DE TENSIÓN DEL BIOPOLÍMERO A BASE DE ALMIDÓN DE PAPA Y GOMA XANTHÁN**

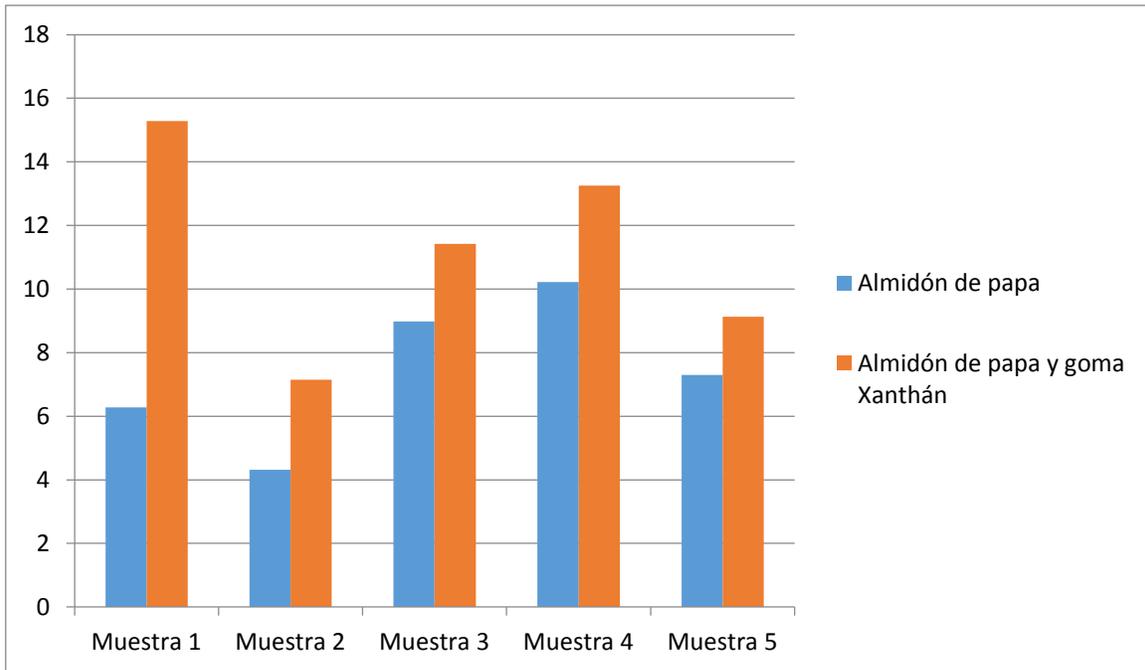


**TABLA No. 4 PRUEBAS DE DEGRADABILIDAD**

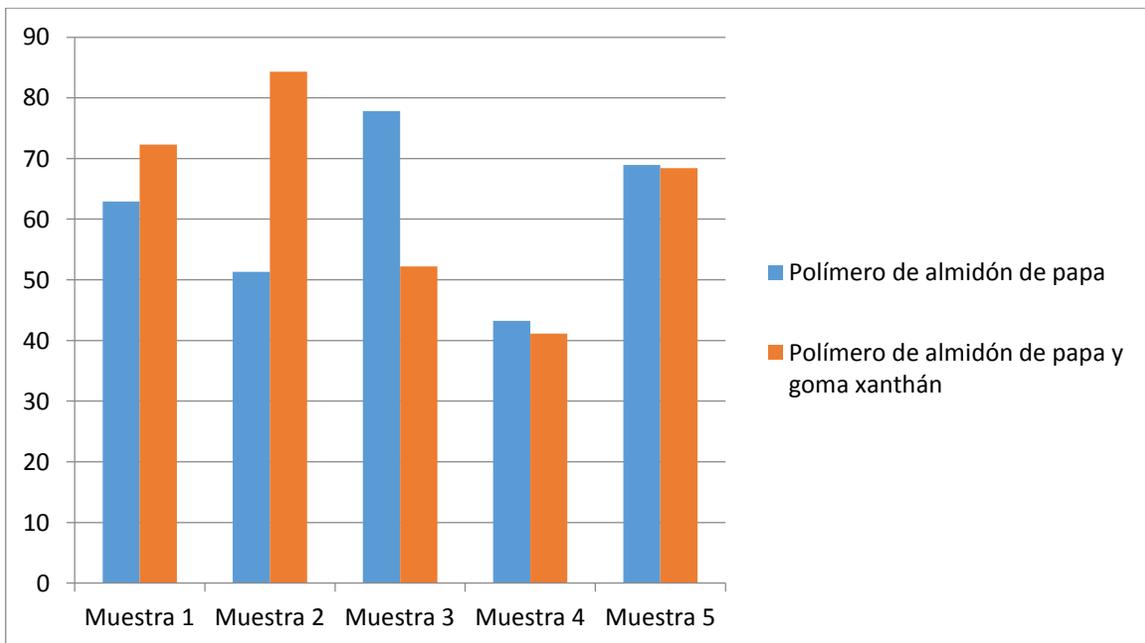
PRUEBA	MUESTRA	Polímero a base de almidón de papa		Polímero a base de almidón de papa y goma xantán	
		DEGRADABILIDAD (%)	PROMEDIO	DEGRADABILIDAD (%)	PROMEDIO
<b>INTEMPERIE</b>	1	6.28	7.42	15.28	11.25
	2	4.32		7.15	
	3	8.98		11.42	
	4	10.22		13.25	
	5	7.30		9.13	
<b>AGUA</b>	1	62.91	60.842	72.31	63.674
	2	51.33		84.29	
	3	77.80		52.20	
	4	43.22		41.15	
	5	68.95		68.42	

Se obtuvo el porcentaje de degradación pesando diez muestras debidamente identificadas, luego se dejaron cinco muestras por treinta días en un recipiente al aire libre y otras cinco muestras en un recipiente con agua, al finalizar este tiempo se volvieron a pesar las muestras para calcular la pérdida de peso de las muestras y determinar la cantidad que se degradó y así poder calcular el porcentaje de degradación por intemperie y degradación por agua.

**GRÁFICA No.3 DEGRADABILIDAD POR INTEMPERIE**



**GRÁFICA No. 4 DEGRADABILIDAD POR AGUA**



## 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La prueba de identificación de almidón se presenta en la tabla No.1, en ella los 5 lotes analizados presentaron una coloración azul característica, por lo que el resultado dio positivo para la presencia de almidón. El principio de esta prueba es la reacción entre el reactivo lugol, el cual está compuesto por una solución de yodo/yoduro de potasio. En la cual el yodo molecular ( $I_2$ ) se encuentra disuelto en una solución acuosa de yoduro de potasio (KI), en esta el ión yoduro se combina con una molécula de yodo y forma el ión triyoduro ( $I_3$ ) que libera moléculas de yodo que reacciona con la amilosa del almidón y produce un complejo azul intenso (MaFaddin, 2003).

El color que dan los polisacáridos con el lugol (solución de  $I_2$  y de KI) se debe a que el  $I_2$  ocupa espacios vacíos en las hélices de la cadena de unidades de glucosa, formando un compuesto de inclusión que altera las propiedades físicas del polisacárido, especialmente la absorción lumínica. Esta unión del  $I_2$  a la cadena es reversible, y por calentamiento desaparece el color, que al enfriarse reaparece. (MaFaddin, 2003)

Esta prueba únicamente es indicativo de la presencia o ausencia de almidón, lo cual era de gran utilidad para determinar si los desechos de papa contenían la materia prima necesaria para realizar el biopolímero.

Luego de realizar la identificación del almidón, se procedió a sintetizar los biopolímeros elaborados a base de almidón y los otros elaborados a base de almidón y goma xanthán. A las muestras elaboradas únicamente a base almidón se le añadió ácido acético, este con el fin de lograr que la estructura del plástico del polímero se estabilice, al neutralizar los polímeros irregulares que se encuentran presentes en el almidón. A los dos tipos de

polímeros sintetizados, se le agregó glicerina el cual le proporciona flexibilidad al plástico actuando como un plastificante. Según el Consejo de la IUPAC “un plastificante es una sustancia que se incorpora a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del fundido”. (Marcilla, 2008) Esta definición pone de manifiesto las múltiples funciones que puede desarrollar un plastificante en un polímero.

Se realizó la comparación de ambos biopolímeros, primeramente se observaron ambos polímeros, donde el polímero a base de almidón de papa *Solanum tuberosum* L tenía una consistencia más blanda, es por esta razón que se realizó basándose en bibliografía consultada la mezcla de almidón de papa *Solanum tuberosum* L. y goma Xanthán, esta le proporcionó mayor resistencia, lo que puede corroborarse mediante dos pruebas fisicomecánicas, las cuales fueron dureza y tensión que se observan en la gráfica 1 y 2 respectivamente. Se seleccionó una muestra de 5 lotes de cada biopolímero.

La prueba de dureza se realizó utilizando el método de Shore, el cual consiste en determinar el rebote que sufre un percutor al chocar contra la superficie que se ensaya, cuando se lo deja caer desde una altura determinada. El percutor utilizado es de acero duro de forma cilíndrica y punta redondeada de muy buena terminación, la que también puede ser de diamante. El percutor cuyo peso es de 3 a 7 gramos se deja caer desde una altura de 250 mm y la lectura del rebote se hace directamente en una escala de 140 divisiones en la que un rebote que alcanza 100 divisiones corresponde a un acero templado para herramientas. (Santos, 2001) El polímero que se utiliza generalmente para fabricar objetos plásticos, como bolsas o empaques para comidas, es el polietileno de baja densidad, este

posee una dureza de 50 según Dureza Shore, Norma ASTM D-2240. También existe el poliuretano, el cual posee una Dureza Shore de 48, sin embargo este tipo de polímero tiene otras utilidades, como por ejemplo recubrimientos o adhesivos.

En la tabla No.2 se puede observar que la dureza presentada por los lotes elaborados a partir de almidón y goma xanthán es ligeramente mayor que la presentada por los lotes elaborados únicamente por almidón. Los polímeros elaborados a partir de almidón de papa y goma xanthán presentan una dureza con un promedio de 12 Kilogramos-fuerza por milímetro cuadrado (shore A) lo que significa que se necesitan 12 kilopodios para que cedan o se fragmenten las fibras exteriores de una muestra con masa de 1 kilogramo en un sitio donde la prueba haya sido realizada con una gravedad estándar de  $9.8 \text{ m/s}^2$ , a diferencia de los biopolímeros elaborados únicamente con almidón de papa que obtuvieron una dureza con un promedio de 9.8, por lo que se puede apreciar una notable diferencia en la dureza de ambos tipos de biopolímeros. Sin embargo, ninguno de los dos biopolímeros elaborados poseen una dureza suficiente para ser utilizados como algún tipo de empaque u objeto desechable, a pesar que en la literatura se concluye que la mezcla de almidón y algún tipo de goma son materias primas suficientes para lograr producir un polímero con buenas características físico-mecánicas, esto no se logró a la hora de realizarlo experimentalmente, probablemente tenga que ver la especie de papa utilizada, ya que la bibliografía consultada es de estudios realizados principalmente en Sudamérica donde predominan otras especies de papa, por lo que la diferencia en las especies puede provocar una variable en el almidón extraído de los residuos de la papa *Solanum tuberosum* L. Además, es probable que sea necesario utilizar una mayor cantidad de goma xanthán para lograr la dureza esperada.

En la tabla No.3 se observa que los biopolímeros elaborados a partir de almidón de papa y goma xanthán presentan una tensión con un promedio de  $1.732 \text{ kg/cm}^3$ , a diferencia de los biopolímeros elaborados únicamente a partir de almidón de papa, a los cuales no se les pudo realizar esta prueba, porque no poseían una resistencia ni una superficie adecuada; debido a que no poseían un material de relleno o de esfuerzo adecuado como la goma xanthán. En la tabla No.3 se observa también que el polietileno de baja densidad posee una tensión de  $11,2 \text{ kg/cm}^2$ , valor que está muy por encima de los resultados obtenidos de los biopolímeros elaborados a partir de almidón y goma xanthán, sin embargo estos valores se encuentran muy cercanos al valor teórico presentado por el poliuretano, el cual es de  $2.5 - 4.3 \text{ kg/cm}^2$ , este es un plástico utilizado principalmente como aislante térmico y acústico, Además, los poliuretanos se consideran los polímeros de mayor gama de aplicaciones. Ellos son empleados como biomateriales y recientemente algunos investigadores estudiaron su aplicación como material de cubierta de principios activos, acorde al reciente desarrollo de los poliuretanos biodegradables. Ya que el biopolímero elaborado a base de almidón de papa y goma xanthán posee características físico mecánicas parecidas al poliuretano, podría encontrarse alguna utilidad que sea de beneficio para este tipo de actividades, cambiando un poco su formulación, para que de esta manera se encuentre la relación idónea entre las materias primas para sintetizar un biopolímero adecuado para dichas actividades.

La superioridad en las pruebas fisicomecánicas realizadas en las muestras de polímeros elaborados a partir de almidón de papa *Solanum tuberosum* L y goma xanthán sobre las elaboradas en las muestras hechas únicamente con almidón de papa *Solanum tuberosum* L, se debe a que se ha determinado que el uso del almidón como único componente para la elaboración de una película, produce materiales quebradizos y muy sensibles al agua, con

propiedades mecánicas pobres. Por ello es necesario combinar el almidón con otros materiales poliméricos con el fin de producir un material con mejores propiedades mecánicas, como la resistencia al agua, mayor flexibilidad y resistencia al rompimiento, entre otras. Los polímeros que se agregan suelen ser materiales de buena biodegradabilidad y preferiblemente son hidrófobos o apolares, como lo es, en este caso, la goma xanthán. En estudios se ha notado un incremento en la resistencia a la tensión de las películas que incluyeron gomas respecto a las que no. En la gráfica No.3 se observan las pruebas de degradabilidad a la intemperie, en donde se puede comprobar que las muestras elaboradas a partir de almidón de papa *Solanum tuberosum* L y goma xanthán presentan una mayor degradabilidad. La goma xanthán es un polisacárido de alto peso molecular que se obtiene por la fermentación de carbohidratos por la bacteria *Xanthomonas Campestris*, lo que nos indica que este es un producto totalmente orgánico que no impide con la degradación de nuestro biopolímero, coadyuva a su degradación, ya que al ser un polisacárido apoya al crecimiento de microorganismos, lo cual provoca una disminución en el tiempo de su degradación. En estudios realizados se ha determinado que estos compuestos naturales (biopolímeros) actúan como matriz que libera lentamente nitrógeno, potasio y fósforo, nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, por lo que esto es un indicio que el polímero elaborado a partir de goma xanthán y almidón de papa sirve como fertilizante, dado que los polímeros se componen de unidades pequeñas que forman una cadena, cada molécula alcanza hasta mil unidades juntas, lo cual ayuda a su trabajo de fertilización y a convertirse en agua y dióxido de carbono a medida que se va degradando. (Aguilar, 2014) En la gráfica No.4 se observa la degradabilidad por agua, en donde al igual que lo anterior, los polímeros elaborados a partir de almidón de papa y goma xanthán presentan un mejor resultado.

Al comparar ambos tipos de degradación, se observa que la degradación por agua es más efectiva que la degradabilidad por intemperie ya que la primera presenta un promedio de 60.842 % de degradación para los polímeros elaborados a partir de almidón de papa y 63.674% para los biopolímeros elaborados a partir de almidón de papa y goma xantán; a diferencia de la degradabilidad por intemperie que presenta un promedio de degradación de 7.42% para los polímeros elaborados a partir únicamente de almidón de papa y 11.25% para los polímeros elaborados a partir de almidón de papa y goma xantán.

La degradabilidad por intemperie se produjo por efecto de la fotodegradación debida a la combinación de luz solar y radiación ultravioleta que afecto a los aditivos plastificantes presentes en las formulaciones, en este caso la glicerina. La baja degradabilidad por intemperie indica que el bioplástico sintetizado en esta investigación se puede dejar bajo la luz solar al menos por 30 días sin que ocurra su degradación completa, lo cual es importante en la elaboración de materiales plásticos para empaques.

Por otra parte, la degradabilidad por agua se produjo por efecto de la disolución de las moléculas del bioplástico al momento que el agua estuvo en contacto con las muestras. Los gránulos del almidón aumentaron la capacidad del bioplástico para absorber agua lo que facilitó la fragmentación de las superficies tanto internas como externas de las muestras ya que estas llegaron a un punto en el cual no pudieron continuar con su expansión y por lo tanto se produjo la disolución de las muestras. Se ha determinado en algunos estudios, que la mezcla entre almidones y gomas presentan un mayor índice de absorción de agua que el presentado únicamente por el almidón.

## 9. CONCLUSIONES

- Se sintetizaron dos biopolímeros, y se determinó mediante pruebas físico-mecánicas que el biopolímero elaborado a partir de almidón y goma xanthán tiene mayor dureza y tensión que el polímero elaborado únicamente de almidón de residuos de papa *Solanum tuberosum* L, por lo tanto se puede concluir que la goma xanthán le proporciona mayor resistencia al polímero.
- Se determinó que los biopolímeros elaborados con almidón de papa y goma xanthán están por debajo de los estándares de dureza y tensión necesarios para ser utilizados como, por ejemplo, envolturas u objetos desechables, los cuales son elaborados comúnmente con polietileno de baja densidad.
- Al comparar los resultados obtenidos con datos teóricos, se determinó que el biopolímero elaborado a partir de almidón de papa *Solanum tuberosum* L. y goma xanthán posee características físico-mecánicas parecidas al poliuretano, un plástico utilizado principalmente como aislante térmico y acústico, además de ser utilizados como biomateriales y de tener aplicación como material de cubierta de principios activos.
- Las muestras elaboradas a partir de almidón de papa *Solanum tuberosum* L y goma xanthán presentan una mayor degradabilidad a la interperie y degradabilidad por agua que las muestras elaboradas a partir únicamente de almidón de papa *Solanum tuberosum* L, por lo que la goma xanthán ayuda a la degradación de los polímeros.
- El comportamiento observado durante el proceso de degradación del biopolímero elaborado a base de almidón de papa *Solanum tuberosum* L. y goma xanthan, que

incluye su capacidad para absorber agua y la degradación por la bacteria *Xanthomonas Campestris* indujo a la creencia que puede ser utilizado como un posible fertilizante.

- La degradación por agua fue más efectiva que la degradación por intemperie.

## **10. RECOMENDACIONES**

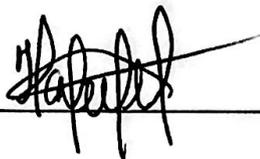
- Realizar porcentaje de rendimiento del almidón extraído de los residuos de papa *Solanum tuberosum* L.
- Realizar otras formulaciones con diferentes proporciones de las mismas materias primas utilizadas para aumentar la dureza y la tensión del polímero.
- Realizar pruebas para determinar los posibles usos encontrados para este biopolímero, como fertilizante o algún biomaterial con aplicaciones parecidas al poliuretano.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H., & V. R. (2007). Biopolímeros Naturales Usados en Empaques. *Temas Agrario* , 5 - 13.
- Aguilar, I. (2014). *Preparación y evaluación en suelo de fertilizantes de liberación controlada (NPK) cubiertos con polímeros biodegradables*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Aguilar, L. e. (2005). Estudio de termoestabilidad de goma xantano por análisis térmico y viscosimetría. *ICIDCA. Sobre los Derivados de Caña de Azúcar.*, 52-57.
- Azurdia, C. (2014). *Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados. Papa (Solanum tuberosum)*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas .
- Barreda, A. (2016). *ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ (Zea mays. L) AÑADIENDO GOMA DE TARA Y XANTAN*". Lima, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Beltrán, M. &. (2009). Estructura y Propiedades de los Polímeros. En M. &. Beltrán, *Tecnología de Polímeros* (págs. 3 - 54).
- Beltrán, M. y. (2012). *Tecnología de Polímeros*. España: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Cardona, C. e. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercados. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 78 - 89.

- Cruz-Morfin, R. e. (2013). Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 42 - 52.
- Domínguez, M. &. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: Propiedades y Aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 110-121.
- Enríquez, M. V. (2012). COMPOSICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PELICULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 182 - 192.
- Espín, G. (2007). Plásticos y Contaminación Ambiental. *Academia de Ciencias de Morelos*, 30.
- Fernández, J. y. (2015). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE NEGOCIOS PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE PAPA EN CONTRA DE LA CONTAMINACIÓN EN COLOMBIA*. Bogotá: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Garavito, J. (2008). *Identificación de Plásticos*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, Laboratorio de Producción.
- González, R. J. (2017). Efecto de la Adición de Goma Gelana sobre las Propiedades de Barrera y Físico Mecánicas de Biopelículas Binarias. *Información Tecnológica*, 143-150.
- Guerra, F. S. (2008). *Biodegradabilidad de Contaminantes: Pruebas de Biodegradabilidad e Inhibición de Compuestos Orgánicos por DBO y VCO*. México : Universidad Iberoamericana .

- Hidalgo, J. (2011). *Fuentes y usos de Bioprocedentes*. España: Universidad María Inmaculada Flores Borge.
- MaFaddin, J. (2003). *Pruebas Bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica*. Argentina: Médica Panamericana.
- Marcilla, M. B. (2008). Tipos de plástico, aditivación y mezclado. En M. B. Marcilla, *Tecnología de Polímeros* (págs. 56-84).
- Medina, R. (2005). Plásticos Biodegradables. *CIENTEC*, 22 - 25.
- Pasquel, A. (2001). Gomas: Una Aproximación a la Industria de Alimentos. *Revista Amazónica de Investigación* , 1-8.
- Rutiaga, M. (2002). *Elaboración de películas plásticas flexibles a partir de polímeros naturales como una alternativa de empaque y la evaluación de sus propiedades*. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Santos, E. e. (2001). Acerca del Ensayo de Dureza. *Industrial Data*, 73-80.
- Téllez, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Valero, M. O. (2013). *Biopolímeros: Avances y Perspectivas*. Bogotá, Colombia: Universidad de La Sabana.
- Villada, H. e. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *INformación Tecnológica*, 3 - 14.
- Waste, A. (2008). *Biopolímeros*. Argentina.



---

Br. Helena Alejandra Reyna Corado

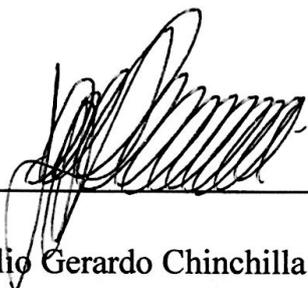
Autor



---

Licda. Julia Amparo García Bolaños

Asesora



---

Lic. Julio Gerardo Chinchilla Vettorazzi

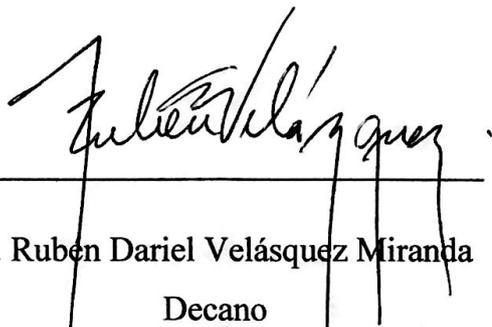
Revisor



---

Msc. Hada Marieta Alvarado Beteta

Directora de Escuela



---

Dr. Ruben Dariel Velásquez Miranda

Decano