



ISBN: 978-99961-50-21-0

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN APLICADA
INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

“OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ”

**SEDES Y ESCUELAS PARTICIPANTES: ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA,
SEDE CENTRAL SANTA TECLA**

AUTOR: INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA QUIÑÓNEZ

SANTA TECLA, ENERO 2015



ISBN: 978-99961-50-21-0

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN APLICADA
INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

“OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ”

**SEDES Y ESCUELAS PARTICIPANTES: ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA,
SEDE CENTRAL SANTA TECLA**

AUTOR: INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA QUIÑÓNEZ

SANTA TECLA, ENERO 2015

Rectora

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

Vicerrector Académico

Ing. Carlos Alberto Arriola

Vicerrectora Técnica Administrativa

Inga. Frineé Violeta Castillo

Edición

Dirección de Investigación y Proyección Social

Ing. Mario Wilfredo Montes

Ing. David Emmanuel Agreda

Lic. Ernesto José Andrade

Sra. Edith Cardoza

Director Coordinador del Proyecto

Lcda. Cecilia Reyes de Cabrales

Autor

Inga. Alma Verónica García

FICHA CATALOGRÁFICA

668.45

G216o García Quiñonez, Alma Verónica.

Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz./ Alma Verónica García Quiñonez. - 1ª ed. San Salvador, El Salvador: ITCA Editores, 2015.

49 p. ; il. ; 28 cm.

ISBN: 978-99961-50-21-0

1. Polímeros vegetales. 2. Biopolímeros. 3. Plásticos – aspectos ambientales I. Título.

Este documento es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA–FEPADE, tiene el propósito de difundir conocimiento y resultados de proyectos entre la comunidad académica y el sector empresarial. El contenido de este Informe de Investigación puede ser reproducido parcial o totalmente, previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA–FEPADE. Para referirse al contenido, debe citar la fuente de información. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores y los docentes investigadores citados.

Sitio web: www.itca.edu.sv

Correo electrónico: bibliotecologos@itca.edu.sv

PBX: (503) 2132 – 7400 / FAX: (503) 2132 – 7423

Tiraje: 16 ejemplares

ISBN: 978-99961-50-21-0

Año 2015

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
2.2	ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA.....	8
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	12
3	OBJETIVOS.....	12
3.1	OBJETIVO GENERAL:.....	12
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	12
4	HIPÓTESIS.....	13
5	MARCO TEÓRICO.....	13
5.1	BIOPOLIMEROS.....	13
5.2	ALMIDÓN.....	14
5.2.1	<i>Propiedades estructurales del almidón natural.....</i>	<i>14</i>
5.2.2	<i>Gelatinización.....</i>	<i>16</i>
5.2.3	<i>Desestructuración.....</i>	<i>17</i>
5.2.4	<i>El almidón como materia prima para la elaboración de un bioplástico.....</i>	<i>17</i>
5.3	EL MAÍZ Y SU ALMIDÓN.....	18
5.3.1	<i>Usos y aplicaciones más comunes del almidón de maíz.....</i>	<i>18</i>
5.3.2	<i>Ventajas del almidón como materia prima para elaboración de bioplásticos.....</i>	<i>19</i>
5.3.3	<i>Desventajas del almidón como materia prima para elaboración de bioplásticos.....</i>	<i>19</i>
5.4	BIOPLÁSTICOS.....	20
5.5	BIODEGRADACIÓN Y BIOPLÁSTICOS.....	21
5.6	EVALUACIÓN DE BIODEGRADACIÓN.....	22
5.6.1	<i>Métodos para comprobar degradación.....</i>	<i>23</i>
5.6.2	<i>Método de cultivo puro.....</i>	<i>23</i>
5.6.3	<i>Método de composteo.....</i>	<i>23</i>
5.6.4	<i>Degradación anaeróbica en presencia de lodos residuales.....</i>	<i>23</i>
5.6.5	<i>Condiciones de relleno activas.....</i>	<i>23</i>
6	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	24
6.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:.....	24
6.2	FASE DE LABORATORIO.....	24

6.3	TRATAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	25
7	RESULTADOS.....	25
7.1	FORMULAS PROTOTIPO DEL BIOPLASTICO DE ALMIDON DE MAIZ.	25
7.2	PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	27
7.3	PRUEBA DE ESPESOR DEL BIOPLASTICO.....	28
7.4	REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA DEGRADACION DEL BIOPLASTICO (27.1°C Y 82% HUMEDAD RELATIVA)	28
7.5	BIODEGRADABILIDAD	29
7.6	ANALISIS DE RESULTADOS.....	30
7.6.1	<i>FORMULAS PROTOTIPO.</i>	30
7.6.2	<i>ANALISIS DE RESISTENCIA A LA TRACCION.</i>	30
7.6.3	<i>ESPESOR DEL BIOPLASTICO.</i>	31
7.6.4	<i>BIODEGRADABILIDAD.</i>	31
8	CONCLUSIONES.....	31
9	RECOMENDACIONES.....	33
10	GLOSARIO	33
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
12	ANEXOS	36

1 INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos ha desplazado a la madera y al vidrio de una gran cantidad de aplicaciones que incluyen la industria de la construcción, la alimenticia, la farmacéutica y la del transporte. Los plásticos convencionales se producen a partir de reservas fósiles de energía como el petróleo. Estos polímeros perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo y por tanto se acumulan, generando así grandes cantidades de residuos sólidos. Muchos de estos materiales pueden ser reciclados, sin embargo, este proceso produce grandes cantidades de sustancias tóxicas que afectan notablemente el medio ambiente.

Es por eso que en esta investigación se plantea un método de obtención (a escala de laboratorio) de un bioplástico a partir de almidón de maíz, que es un recurso natural renovable. Los plásticos biodegradables ofrecen una serie de ventajas cuando se comparan con los plásticos convencionales. Estos son completamente degradados en compuestos que no dañan el medio ambiente: agua, dióxido de carbono y humus. Tal y como se comprobó en la parte experimental.

Al material obtenido se le realizaron pruebas mecánicas y fisicoquímicas, para comprobar su resistencia y porcentaje de biodegradabilidad con el fin de demostrar que es un bioplástico y dar recomendaciones de los posibles usos industriales que pueda tener.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La mayoría de polímeros sintéticos se producen a partir de compuestos petroquímicos y sus desperdicios permanecen en el medio ambiente produciendo contaminación. Si bien es cierto, el reciclaje reduce el problema, pero no lo elimina de raíz. Además, muchos empaques plásticos no pueden reciclarse fácilmente, pues hay que recolectarlos, trasladarlos y limpiarlos antes de procesarlos, lo cual resulta costoso.

Cabe mencionar que diariamente, los salvadoreños generan unas 3,430 toneladas de desechos. De ellas, poco más de 50 son recuperadas, es decir, entre el 1% y el 2%, según Kathy Castro, especialista de la Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Por lo cual en esta investigación, se pretende desarrollar un bioplástico a escala de laboratorio, que cumpla con la característica de ser biodegradable, de acuerdo a la definición de la American Society for Testing and Materiales (ASTM): “Plástico degradable en el cual la degradación resulta de la acción de microorganismos de ocurrencia natural”. Lo cual lleva a que el producto obtenido será evaluado en cuanto a sus propiedades mecánicas, para verificar su calidad como material de empaque y por supuesto, se evaluarán sus características de biodegradabilidad de acuerdo a las normas ASTM: D6400-04 “Standard specification for compostable plastics” y D 6363-08 “Standard specifications for biodegradable plastics”.

De esta manera, se obtendrá un producto útil, biodegradable, que no genere impacto ambiental al ser desechado y elaborado a partir de recursos renovables.

2.2 ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

El campo de investigación y consiguiente elaboración de biopolímeros ha ido creciendo en la última década, ya sea debido a endurecimiento de las legislaciones ambientales de cada país o por conciencia ecológica, en todo caso el término biopolímero es bastante amplio, siendo estos utilizados como materia prima en medicamentos, suplementos alimenticios y por supuesto en la elaboración de bioplásticos.

Puesto que el tema de interés es obtener un bioplástico a partir de almidón de maíz, la búsqueda de antecedentes se centrará únicamente en aquellos biopolímeros que puedan ser transformados en bioplásticos, por lo cual se presentan las siguientes investigaciones previas:

Título: Importación, distribución y comercialización de envases desechables fabricados a partir de bioplásticos.

Autores: García Amaya, José William, Córdoba Blancat, Luis Guillermo.

Fecha de publicación: 7-mar-2012

Lugar: Universidad de La Sabana, Colombia.

Resumen: Se presenta un plan de negocios el cual se encuentra orientado a la importación, distribución y comercialización de envases desechables 100% biodegradables elaborados a partir de bioplásticos, (fabricados a partir de recursos renovables de origen natural, como el almidón o la celulosa, maíz, yuca, caña de azúcar, remolacha, papa)

Título: Almidón termoplástico celular reforzado con fibras naturales: Una opción biodegradable para el envasado de alimentos.

Autores: López Gil, Alberto Belluci, F.S. Ardanuy Raso, Mónica Rodríguez-Pérez, Miguel

Ángel Saja, José Antonio de Altres

Fecha de publicación: 20 de agosto de 2012.

Lugar de publicación: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria

Tèxtil i Paperera España.

Resumen: La investigación se centra en destacar las ventajas de los bioplásticos respecto a otros materiales, por su capacidad de biodegradarse en condiciones controladas. El almidón es un prototipo de estos materiales y algunas de sus aplicaciones son uno de los temas analizados, el cómo aplicar este polímero como sólido celular y en el campo del envasado de productos alimenticios. Se describe como se utilizó como método de fabricación una tecnología novedosa de espumado mediante radiación microondas. Además, como agentes de refuerzo para mejorar sus propiedades mecánicas se recurrió a fibras naturales procedentes de la paja de cebada y de los hollejos de la uva.

Título: Bioplásticos: una alternativa ecológica.

Autoras: Alejandra de Almeida, Jimena A. Ruiz, Nancy I. López y M. Julia Pettinari.

Lugar de publicación: Laboratorio de Ecología y Genética Bacteriana, Departamento de

Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos

Aires. Argentina.

Fecha de publicación: Septiembre de 2004.

Resumen: Artículo de la Revista Química Viva, Numero 3, año 3. ISSN 1666 – 7948. Se investigan las propiedades de los polihidroxialcanoatos (PHA) que son sintetizados por muchas especies de distintos géneros bacterianos. Se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio que permitieron demostrar que la degradación de PHA cumple un papel muy importante en la supervivencia bacteriana y en los mecanismos de resistencia al estrés, en condiciones de baja concentración de nutrientes. A su vez, estos biopolímeros son termoplásticos y poseen propiedades similares a las de los plásticos derivados del petróleo. Pueden ser totalmente degradados por las bacterias que los producen, y por otras bacterias,

hongos y algas. A pesar de las evidentes ventajas de los PHA frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso está muy limitado debido a su alto costo de producción.

Título: Estudio de la producción de empaques biodegradables a partir de bioresinas en la empresa Halcón Plásticos LTDA de Bucaramanga.

Autor: Mendoza Reatiga, Dolly Esperanza

Fecha publicación: 20-dic-2012

Lugar de publicación: Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Resumen: Trabajo de grado que describe como la empresa Halcón Plásticos decidió iniciar con la producción de empaques biodegradables realizando un estudio previo en el que se determinaron bioresinas a utilizar, condiciones de operación y propiedades mecánicas y biológicas para el nuevo producto, utilizando la metodología: identificación y adquisición de materia primas, procesamiento de la bioresina, aplicación de pruebas mecánicas y biológicas a los bioempaques, análisis de los resultados y un análisis económico. *Además, se realizó un análisis económico en el que se determinó que el costo total de empaque biodegradable sobrepasaba al del sintético en \$1090 por kilogramo, concluyendo, que si se pueden producir empaques plásticos biodegradables con un incremento no muy alto pero si con una gran ayuda al medio ambiente.*

En la mayoría de antecedentes se encontraron los siguientes hallazgos: 1) No se utilizaba el almidón de maíz únicamente como materia prima para la elaboración del bioplástico, 2) énfasis en los altos costos de producción de bioplásticos, lo cual es una desventaja respecto a los plásticos sintéticos y 3) uso de tecnologías de avanzada. Lo cual desde el punto de vista técnico y económico representaran los retos a resolver en la presente investigación. Además, se consultaron las bases de datos de patentes, encontrándose los siguientes resultados:

Botella biodegradable para líquidos (Biodegradable bottle for liquids)

Número: WO2013013065 (A1)

Inventores: BERK ADAM [US]; GREEN LEE [US]; KHAN FUAD [GB]

Resumen de WO2013013065 (A1): Una botella para contener líquidos, la cual es biodegradable y hecha de materiales medioambientalmente sostenibles. La botella incluye el cuerpo, cuello, un hombro y una tapadera. De acuerdo con un aspecto, la porción de cuello de la botella está hecha de bioplástico, y el hombro y el cuerpo de la botella están hechos de pulpa termoformada.

Bioplastico/Bioplastic

Numero: WO2012054003 (A1)

Inventor: BORODATOV ALEKSANDR IVANOVICH [UA]

Resumen de WO2012054003 (A1): La invención se refiere a la industria de los polímeros. El bioplástico comprende una mezcla de material sobre la base de compuestos de alto peso molecular con activos sustancias orgánicas de origen natural. Como el material sobre la base de compuestos de alto peso molecular, el bioplástico comprende un polímero o un caucho, o una composición sobre la base de los mismos, en una cantidad de % en masa 79.99-99.997. Como las sustancias activas de origen natural, el bioplástico comprende extractos a partir de materias primas vegetales o de cualquier organismo vivo y/o sustancias naturales de origen diverso o una mezcla de combinación de los mismos en una cantidad de % en masa 10.0-0.001. Además, el bioplástico comprende microelementos y/o macroelementos presentan de forma individual o en forma de cualquiera de sus compuestos o sustancias de forma orgánica en una cantidad de 10.0-0.001% en masa, y componentes auxiliares, preferiblemente vitaminas o multivitaminas.

Método de preparación de la degradación controlable por ácido poliláctico / almidón de plástico totalmente biodegradable (Preparation method of degradation-controllable polylactic acid/starch total biodegradable plastic)

Numero: CN102627841 (A)

Inventores: SHIZHONG LI; XIAOGANG LIU; WEIHUA PU

Resumen de CN102627841 (A): La invención describe un método de preparación de una degradación controlable por ácido poliláctico / almidón en un plástico biodegradable, que pertenece al campo técnico de la preparación bioplástico. Según la invención, el plástico biodegradable se preparó mediante la adición de fosfito como un agente de control de degradación, utilizando lotes maestros de plástico como materia prima, la realización de procesos de vacío calor, co-extrusión continuo, y la realización de eje sencillo o doble tramo del eje caliente de refuerzo. El método de la invención tiene las ventajas de la ruta sencilla y de fácil operación, la materia prima utilizada tiene un precio bajo y es natural y renovable, y el plástico preparado tiene un buen rendimiento es mejor que otros plásticos biodegradables en cuanto a resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura, y módulo de Young. En comparación con los tradicionales métodos de producción de polímero de ácido poliláctico, el método de la invención tiene las ventajas de bajo consumo de energía y bajo costo.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La tierra produce plantas como el maíz, papa o yuca, entre otras, que contienen almidón. Este almidón puede servir como base para producir un polímero biodegradable con el cual se pueden fabricar bolsas para recolectar desperdicios orgánicos o empaques para productos varios (en forma de película, bandeja, etc), este polímero al ser compostado, puede descomponerse produciendo abono orgánico que sirve como fertilizante de los suelos que nuevamente producirán las plantas que contienen almidón. El uso de los polímeros biodegradables tales como el almidón puede ser una solución interesante debido a su relativa abundancia y fácil biodegradabilidad.

El sector del empaque, a nivel regional, se vería beneficiado en encontrar disponibilidad en el mercado de empaque biodegradable, de bajo costo de ser posible, debido a que la mayor demanda de plásticos procesados está en este sector; siendo el mayor consumidor de empaque la industria alimenticia, seguido por la industria farmacéutica y de cosméticos.

No esta demás añadir que por antonomasia en nuestro país, la mayoría de desechos sólidos se descartan empacados en bolsas de plástico. Es por eso, que al obtener un bioplástico que satisfaga los requerimientos de material de empaque, en cuanto a sus propiedades mecánicas; se proporcionaría a la industria del empaque un material biodegradable/compostable, que pueda sustituir productos altamente contaminantes, como por ejemplo el poliestireno expandido (durapax) y la ya tradicional bolsa de plástico. Lo cual llevaría a una reducción considerable en la contaminación ambiental generada por los plásticos convencionales

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Elaborar un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz a escala de laboratorio, dicho polímero será la base para elaborar dos prototipos de material de empaque: película y bandeja.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Elaborar un polímero biodegradable (bioplástico) a partir de almidón de maíz a escala de laboratorio.

- Diseñar un proceso a escala de laboratorio, práctico y a más poder de bajo costo para la elaboración de un bioplástico a partir de almidón de maíz.
- Evaluar biodegradabilidad del bioplástico obtenido para verificar el cumplimiento de la ASTM D 6400: “Método normalizado de ensayo para determinar la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostado”.
- Fabricar dos prototipos de material de empaque (película y bandeja) a partir del bioplástico obtenido.
- Evaluar las propiedades mecánicas de los prototipos elaborados, tales como: resistencia a la tracción y comportamiento frente al agua.

4 HIPÓTESIS

Al procesar el almidón de maíz, variando las condiciones, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes, se obtendrá un polímero biodegradable (bioplástico) que cumpla con los requisitos para ser utilizado como material de empaque (en cuanto a propiedades físicas y mecánicas) y además cumplirá con la condición de ser biodegradable/compostable. Dicho material tendrá como ventaja el tener un impacto ambiental prácticamente nulo, con respecto a los plásticos convencionales y al poliestireno expandido (durapax).

5 MARCO TEÓRICO

5.1 BIOPOLÍMEROS.

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

De entre los biopolímeros los referidos a la primera clasificación, existen tres principales familias: proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos, aunque también otros más singulares como los politerpenos; entre los que se incluye el caucho natural, los polifenoles (como la lignina) o algunos poliésteres como los polihidroxicanoatos producidos por algunas bacterias.

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

Como se puede apreciar, el campo de los biopolímeros es amplísimo, pero para efectos de la siguiente investigación se profundizara específicamente en uno de ellos, el cual es el almidón y sus propiedades: y de cómo se puede producir a partir de él, un bioplástico:

5.2 ALMIDÓN.

5.2.1 PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN NATURAL.

Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina. Cerca del 20% de la mayoría de almidones es amilosa y el 80% amilopectina. Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20,000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos $\alpha - 1,4$ (Figura 1) en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice.

Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones $\alpha - D-(1,6)$, aproximadamente entre 0.3 a 0.5% del total de los enlaces. Estas generalmente, no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente con un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes, y retrogradado fácilmente. Como consecuencia de la formación de cadenas en forma de hélice las fibras y películas de amilosa son más elásticas que las de celulosa. La amilosa es soluble en agua caliente lo cual se debe a la formación de una suspensión coloidal. Dos almidones de maíz de alta amilosa comerciales tienen cerca de 50 y 70% cada uno.

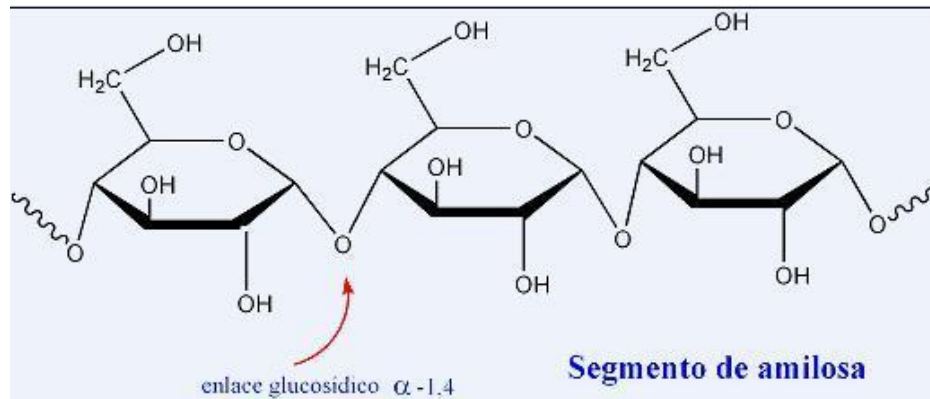


Figura 1. Segmentos de una molécula de amilosa.

La estructura de la amilopectina, situada en las capas exteriores, es diferente a la de la amilosa. Las moléculas de la amilopectina contienen enlaces glucosídicos $\alpha - 1,4$ y $\alpha - 1,6$, como se observa en la figura 2. Los enlaces glucosídicos unen las moléculas de glucosa en la cadena principal de amilopectina. Con frecuencia se encuentran ramificaciones de la cadena principal, las cuales se deben a los enlaces glucosídicos $\alpha - 1,6$ con otras moléculas de glucosa. Los puntos de enlace de las ramificaciones constituyen entre el 4 y 5% del total de los enlaces. Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las moléculas de amilosa; algunas contienen entre 10,000 y 20 millones de unidades de glucosa. El peso molecular de la amilosa está entre 0.1 y un millón de g/mol. Y el de la amilopectina está entre (10,000 a 1,000 millones) g/mol.

Una de las propiedades más importantes del almidón natural es su semicristalinidad donde la amilopectina es el componente dominante para la cristalización en la mayoría de los almidones. La parte amorfa está formada por regiones ramificadas de amilopectina y amilosa.

Las propiedades comercialmente significativas del almidón, tales como su resistencia mecánica y flexibilidad, dependen de la resistencia y de carácter de la región cristalina, la cual depende de la relación de amilosa y amilopectina y por lo tanto del tipo de planta, de la distribución del peso molecular, del grado de ramificación y del proceso de conformación de cada componente del polímero.

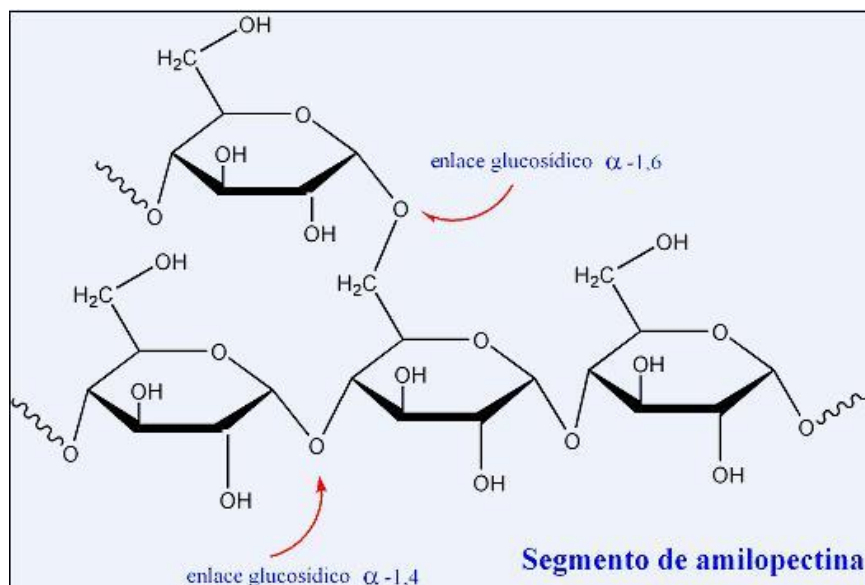


Figura 2. Segmento de molécula de amilopectina.

5.2.2 GELATINIZACIÓN.

Se define como la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. Los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa los granos se hinchan por la acción del calor, tienden a perder las propiedades que le confiere su estructura semicristalina y a una temperatura crítica forman un gel.

Durante la gelatinización el agua penetra inicialmente en las regiones amorfas iniciando el hinchamiento, lo cual se aprecia por la disminución en la birrefringencia. Luego el agua desaloja las cadenas de almidón desde la superficie de los cristales a medida que la temperatura; la movilidad térmica de las moléculas y la solvatación producida por las fuerzas de hinchamiento provocan una disminución de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular es fragmentada casi completamente obteniéndose un sólido – gel. La principal diferencia entre la preparación de geles, comidas, películas o materiales procesados de almidón termoplástico (TPS) es la cantidad de agua o plastificante durante la gelatinización o fusión de los gránulos de almidón. Para la obtención del almidón termoplástico, el almidón se funde con la ayuda de una cantidad relativamente baja de agua durante el proceso de extrusión, moldeo por presión o moldeo por inyección, por donde la cantidad de agua está por debajo del 20% en la mayoría de los casos. Parte del agua generalmente se reemplaza por pequeñas cantidades de glicerina. Las diferencias en el contenido de agua y glicerina y las condiciones del procesamiento tales como: la velocidad de

cizalladura y temperatura producen diferencias en la formación de la red de almidón y en la morfología del material producido.

5.2.3 DESESTRUCTURACIÓN.

El proceso de desestructuración del almidón natural es la transformación de los granos de almidón semicristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo y en el rompimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón, de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Los factores fisicoquímicos que participan en el proceso son: temperatura, esfuerzo constante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, contenido de agua, y cantidad total de energía aplicada. La amilopectina se despolimeriza inicialmente, y luego la amilosa, con la aplicación de mayor energía.

La desestructuración también puede ocurrir cuando se aplica calor. El aumento de temperatura incrementa la solubilidad del almidón en agua produciéndose una despolimerización significativa alrededor de los 150 °C, sin embargo, solamente por encima de 190 °C puede confirmarse el incremento de la solubilidad. Cuando se aumenta el contenido de humedad de la mezcla disminuye el grado de desestructuración.

Durante el proceso de extrusión la cizalladura produce como resultado la fragmentación de los gránulos de almidón, la cual se evidencia por la parcial o completa destrucción de la estructura cristalina de éste, cuando se observa utilizando difracción de rayos X; adicionalmente disminuye la viscosidad o aumenta la solubilidad del almidón en solución después de la extrusión, debido a la polimerización en cadenas moleculares dispuestas en forma desordenada, la cual ha sido evidenciada por la variación en los valores del índice (n) de la ley de potencias durante las mediciones reológicas realizadas durante la extrusión.

5.2.4 EL ALMIDÓN, COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO.

Para convertir un almidón seco en un material bioplástico es necesario romper y fundir la estructura granular semicristalina del mismo [Thire et al, 2003]. El almidón sin los aditivos adecuados (plastificantes) no tiene las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico, Los plastificantes incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular [Mali et al, 2005]. Se pueden distinguir dos tipos de ordenamiento en el almidón termoplástico después de su procesamiento: la cristalinidad residual clasificada en las formas tipo A, B y C causadas por la fusión incompleta durante la plastificación y la cristalinidad

inducida durante el procesamiento, de acuerdo a los arreglos generados en las cadenas poliméricas [Van Soest et al, 1996a] Según Sandoval et al (2005), el tipo A es común en almidones de cereales, el B en tubérculos y el C en ciertas raíces y semillas. La cantidad de cristalinidad residual está relacionada con la temperatura y el esfuerzo de corte aplicado durante el procesamiento; de igual manera la composición de la mezcla de alimentación también influye indirectamente en esta cantidad de cristalinidad remanente.

Dependiendo de algunas condiciones de procesamiento y almacenamiento como la temperatura y la humedad, el almidón amorfo sufre cambios estructurales después del enfriamiento, basados en: recristalización de la amilosa y la amilopectina en diferentes estructuras cristalinas, separación de fase y reorientación del polímero. Las interacciones moleculares (principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón) que ocurren después del enfriamiento son llamadas retrogradación [Thire et al, 2003]. Esta retrogradación hace referencia igualmente a los cambios que tienen lugar en el almidón gelatinizado desde un estado amorfo inicial a uno cristalino más ordenado. Ocurre porque los geles de almidón no son termodinámicamente estables. De acuerdo a Gudmundsson (1994) las cadenas de amilopectina son responsables por los fenómenos de retrogradación que se generan a largo plazo, mientras que la amilosa se relaciona con los cambios a tiempos más cortos.

5.3 EL MAÍZ Y SU ALMIDÓN.

El almidón o fécula de maíz es un polisacárido que se obtiene de moler las diferentes variedades del maíz. Suele formar parte de los carbohidratos que se ingieren de manera habitual a través de los alimentos; en estado natural se presenta como partículas complejas que, en presencia de agua, forman suspensiones de poca viscosidad. Su composición es principalmente de glucosa, aunque puede haber otros componentes presentes en menor cantidad, como ya se ha explicado en apartados anteriores.

El almidón de maíz debe conservarse y almacenarse en lugares secos, frescos y no debe estar en contacto con olores fuertes. Es un ingrediente sumamente versátil, se presenta como un polvo blanco muy fino que tiene un sabor característico.

5.3.1 USOS Y APLICACIONES MÁS COMUNES DEL ALMIDÓN DE MAÍZ.

Por lo regular, el almidón de maíz suele utilizarse como agente espesante en diferentes procedimientos, sin embargo sus usos son más variados. A continuación se enlistan algunos de ellos:

- Alimentos: Se utiliza para espesar y engrosar preparaciones. En productos horneados, pan, dulces, aderezos para ensaladas, entre otros.
- Alcohol: Se utiliza en la preparación de bebidas no alcohólicas, perfumes, aerosoles fijadores de cabello y para la pureza del alcohol etílico.
- Farmacéutica.
- Alimentación de mascotas.
- Fabricación de papel.
- Adhesivos.
- Cremas de afeitarse.
- Productos textiles.
- Diversos productos de la industria del cuidado personal.
- Solventes.
- Elaboración de bioplásticos.

5.3.2 VENTAJAS DEL ALMIDÓN COMO MATERIA PRIMA, PARA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS.

- Es el segundo biopolímero más abundante.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Sellable e imprimible sin tratamiento superficial.
- Barrera a gases como el CO₂ y O₂; así como aromas (semejante al PET y al nylon).
- Intrínsecamente antiestático.
- Hidrosoluble.
- Versátil, ya que se puede modificar químicamente.

5.3.3 DESVENTAJAS DEL ALMIDÓN COMO MATERIA PRIMA, PARA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS.

- Material muy sensible a la humedad. Elevada WVTR (water vapor transmission rate, tasa de transmisión de vapor de agua).

- Elevada densidad.
- Procesado complicado por extrusión.
- Fragilidad.

5.4 BIOPLÁSTICOS.

Los bioplásticos son fabricados a partir de recursos renovables de origen natural, como el **almidón** o la celulosa (caña de azúcar, maíz, yuca, remolacha, papa). Para crear un bioplástico, se buscan estructuras químicas que permitan la degradación del material por microorganismos, como hongos y bacterias, a diferencia del polipropileno y poliestireno expandido, cuya producción se basa de los derivados del petróleo (recurso que es no renovable). No obstante, **hay que precisar que los plásticos biodegradables pueden proceder del petróleo y no deben confundirse con los bioplásticos.** Los plásticos biodegradables procedentes del petróleo tienen aditivos que mejoran su capacidad de degradación, pero no satisfacen las normas internacionales de biodegradabilidad: DIN V 54900, EN 13432, ISO 14855, por citar algunas, mientras que los bioplásticos sí lo hacen. Los productos desechables bioplásticos se degradan en un periodo menor a un año, donde el residuo final del proceso es la generación de CO₂, agua y biomasa. Al contrario de los productos desechables plásticos y de poliestireno expandido (durapax) que pueden tomar hasta 1,200 años en degradarse, generando una contaminación acumulativa al ecosistema.

Algunos estudios auguran para los bioplásticos un futuro prometedor, gracias a los cada vez más elevados precios del crudo y su futuro agotamiento, además de la apuesta que hacen las instituciones y los ciudadanos por los productos ecológicos.

Cabe mencionar, que algunos desechables bioplásticos son aptos para uso en microondas, resisten temperaturas entre -20 y 120°C, son livianos, resistentes y de apariencia agradable, por lo que se puede considerar como un producto que no pone en riesgo la vida de los consumidores. Además ayudan a preservar la frescura de los alimentos, en algunos casos son resistentes al agua y al aceite y no transfieren sabores y olores. Sin embargo, algunas desventajas de ellos son, la dificultad para disolverse en agua (pero gran absorción), propiedades mecánicas y de procesado poco satisfactorias (con respecto a los plásticos convencionales), fragilidad y baja temperatura de deformación al calor.

5.5 BIODEGRADACIÓN Y BIOPLÁSTICOS.

Se define la biodegradación como la capacidad metabólica de los microorganismos para transformar o mineralizar contaminantes orgánicos en compuestos menos peligrosos, que puedan integrar en los ciclos biogeoquímicos naturales. Sin embargo, en la biodegradación natural de los contaminantes se debe dar una serie de factores y condiciones vitales para el crecimiento de la bacteria, como son la humedad, los nutrientes, el oxígeno, el pH o la temperatura. Así mismo en este proceso influye la composición, concentración y disponibilidad de los contaminantes, o las características físicas y químicas del lugar contaminado [Montras y Vicent, 2002]

Los bioplásticos se pueden degradar por acción biológica, química, fotodegradación, o una combinación de algunas de ellas. La degradación final de todos los materiales plásticos degradables, sea que inicialmente se degraden química por luz, será la acción de microorganismos [Nair, 2007].

Los bioplásticos son biodegradables, desintegrantes y carecen por completo de ecotoxicidad, también pueden ser incinerados, porque el CO₂ producido por la incineración es equivalente al que anteriormente fue absorbido por las plantas utilizadas para su fabricación durante su crecimiento. Los nuevos materiales cumplen con la norma europea EN 13432 (Embalaje – Requerimientos para embalaje y envases recuperables a través del compostaje y biodegradación). Esquema de pruebas que verifica el control de los componentes y verifica la ausencia de metales pesados. El umbral de biodegradabilidad exigido por la norma es del 90% y un máximo de seis meses. En cuanto a la desintegración, no debe quedar fragmentado el material en fragmento superiores a 2 mm X 2 mm después de 12 semanas. También se controla la ecotoxicidad del humus [AMBIENTA, 2007]

La biodegradación de los bioplásticos empieza con un proceso llamado hidrolisis donde hay una ruptura de las cadenas poliméricas. Siendo esta la etapa que mayor tiempo conlleva para los desechables plásticos y de poliestireno expandido, en los que llega a ser de cientos de años.

Seguidamente se establece una destrucción de los enlaces como efecto de la luz, el estrés mecánico, la presencia de oxígeno, temperaturas mayores a 60°C, y la acción de bacterias aerobias.

Si los bioplásticos desechables son enterrados (manejo en relleno sanitario) su degradación se lleva a cabo por medio de la acción enzimática de bacterias anaerobias.

5.6 EVALUACIÓN DE BIODEGRADACIÓN.

Los nuevos polímeros que ofrecen propiedades mejoradas relativas a la susceptibilidad de ataques microbianos han sido introducidos a los mercados internacionales. Esto necesita de una evaluación de la propensión de los materiales de ser degradados biológicamente. La prueba inicia con la muestra de los plásticos para estimar las propiedades de un lote y proveer material para evaluar un método de prueba. El muestreo es un medio utilizado para solucionar el problema de estimar la calidad de un lote a partir de la inspección de sólo una parte de él.

La Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Estándares (ISO) han desarrollado estándares para la prueba de biodegradabilidad en diferentes condiciones específicas. Muchos de estos métodos dan resultados similares, aunque generalmente se complementan uno a otro. Basados en la naturaleza de los plásticos y en las rutas disponibles para su disposición final en un país, ejemplos de algunos métodos utilizados para evaluar las propiedades biodegradables de plásticos se pueden consultar en la Tabla 1.

Tabla 5.1 Normas para la determinación de biodegradabilidad de plásticos. [Mendoza Reatiga, 2009]

Código	Nombre
ASTM G21-96	Determinar la resistencia de materiales poliméricos a hongos.
ASTM 5247	Determina la biodegradación anaeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5338 - 98	Determina la biodegradación aeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5988 - 96	Determina la biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o residuos plásticos después de composteo.
ASTM 6002 - 96	Evalúa la posibilidad de composteo de plásticos degradables ambientalmente.
ASTM 6400 - 99	Especificación estándares para plásticos de composteo.

5.6.1 MÉTODOS PARA COMPROBAR DEGRADACIÓN.

El aspecto más importante es seleccionar el procedimiento apropiado basado en la naturaleza de los plásticos y las condiciones climáticas del país. Las propiedades biodegradables son evaluadas bajo las siguientes condiciones:

5.6.2 MÉTODO DE CULTIVO PURO.

El método de cultivo puro utiliza bacterias u hongos específicos. El método de laboratorio determina el efecto de bacterias u hongos en las bolsas plásticas cuando los plásticos son conservados en las instalaciones del mismo bajo condiciones de temperatura y humedad favorables a dicho ataque.

5.6.3 MÉTODO DE COMPOSTEO.

El composteo es un proceso administrado que controla la descomposición biológica y la transformación de materiales biodegradables es una sustancia llamada composta. Por tratarse de actividad biológica, durante el proceso, se produce elevación de temperatura, en ocasiones suficientemente alta como para causar ignición de los materiales.

El tiempo de biodegradación es variable, dependiendo de los materiales que se utilicen y de la cantidad pero en promedio se puede empezar a utilizar el producto de este proceso, a partir de unas pocas semanas o meses de un año.

5.6.4 DEGRADACIÓN ANAERÓBICA EN PRESENCIA DE LODOS RESIDUALES.

El hecho de que en todos los ambientes donde los hidrocarburos naturales se forman el oxígeno no está presente, ha hecho pensar que los hidrocarburos no podrían ser degradados anaeróbicamente.

5.6.5 CONDICIONES DE RELLENO ACTIVAS.

Los suelos con vegetación son ambientes activos, tienen una población bacteriana de orden de 10⁹ – 10¹¹ organismos por gramo. Enterrar bolsas de plástico en dichos rellenos expone a los plásticos a una biodegradación e hidrólisis. Estos cambios pueden afectar la degradación

así como el volumen de reducción.

6 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se considera una investigación de tipo experimental y retrospectiva por tener como objeto de estudio la manipulación de variables experimentales bajo condiciones controladas y además de poseer un carácter exploratorio pues se realiza con el propósito de obtener datos fieles y seguros para que sirvan de base en estudios futuros.

6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

En la que se ha reunido tres grupos de información: la primera trata de los conceptos fundamentales referentes a los biopolímeros, bioplásticos y sus derivados: sus respectivas definiciones, características, marco normativo regulatorio, entre otros. El segundo grupo trata sobre cómo obtener un bioplástico a escala de laboratorio y la información correspondiente a la realización de pruebas de control de calidad a dicho producto; por último, el tercer grupo está referido a patentes relacionadas al producto que se desea obtener.

Para tal efecto se ha consultado bibliografía, sobre todo en internet en bases de datos tales como CBUES, Libhub, Google Academycs, por citar algunos. Además, en cuanto a patentes se refiere, se utilizó la base de datos Spacenet.com.

6.2 FASE DE LABORATORIO.

Se realizó en cuatro etapas, las primeras tres se desarrollaron en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de la institución. Cabe mencionar que a lo largo de todo el desarrollo experimental se involucró a cinco estudiantes destacados de nuestra Escuela. Las etapas se detallan a continuación:

- a. Elaboración de formulaciones prototipo para obtener el biopolímero en forma de película y bandeja.
- b. Pruebas fisicoquímicas a los prototipos elaborados.
- c. Pruebas mecánicas al producto obtenido en el Laboratorio de la Escuela de Mecánica Industrial de la institución.
- d. Verificación de biodegradabilidad del bioplástico obtenido, en el Laboratorio de la Escuela de Química.

Todos los insumos, equipos y procedimientos necesarios para efectuar cada una de estas etapas se detallan en el anexo A.

6.3 TRATAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los datos correspondientes a los análisis físico-químicos, mecánicos y ensayos de biodegradabilidad, se procesaron estadísticamente: calculando los promedios, pues el tamaño de muestra así lo permitió.

Se realizó el correspondiente análisis de los datos obtenidos en el laboratorio, depurando la información, y luego haciendo una comparación con las normativas ASTM correspondientes y que se han detallado en el marco teórico.

7 RESULTADOS

7.1 FORMULAS PROTOTIPO DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE MAÍZ.

FORMULA 1: Secado a 75°C por 30 minutos.	
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE PESO/PESO
Almidón de maíz	3.38 %
Agua destilada	50.82%
Ácido acético3% V/V	8.89%
Glicerina	6.40%

Formula 2: Secado a 75 °C por 1 hora.	
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE PESO/PESO
Almidón de maíz	25.31%
Agua destilada	63.27%
Ácido acético 3%V/V	6.64%
Glicerina	4.78%

Formula 3: Secado a 75°C por 2 horas.	
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE PESO/PESO
Almidón de maíz	24.62%
Agua destilada	61.31%
Ácido acético 3%V/V	6.44%
Glicerina	7.66%

Formula 4: Secado a 100°C por 2 horas y 4 días a 27.1°C , 82% humedad relativa.	
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE PESO/PESO
Almidón de maíz	13.98%
Agua destilada	69.88%
Ácido acético 3%V/V	7.34%
Glicerina	8.81%

Formula 5: Secado a 100°C por 2 horas y 4 días a 27.1°C, 82% humedad relativa.	
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE PESO/PESO
Almidón de maíz.	19.60%
Agua destilada	65.32%
Ácido acético 3%V/V	6.86%
Glicerina	8.23%

7.2 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

La resistencia a la tracción, que es la medida de la capacidad de un polímero a resistir a los esfuerzos de estiramiento, normalmente se mide aplicando un esfuerzo a una probeta. Durante este análisis se utilizó una probeta de 5 x 10 cm. La expresión que se utilizó para calcular este parámetro se presenta a continuación:

$$\text{Resistencia a la tracción } Pa = \frac{\text{Fuerza necesaria para romper la muestra (N)}}{\text{Área de la sección transversal (m}^2\text{)}}$$

NOTA: Área de la sección transversal: 0.005 m².



PROTOTIPO	RESISTENCIA (Mega Pascales)
4	0.31 MPa
5	0.25 Mpa

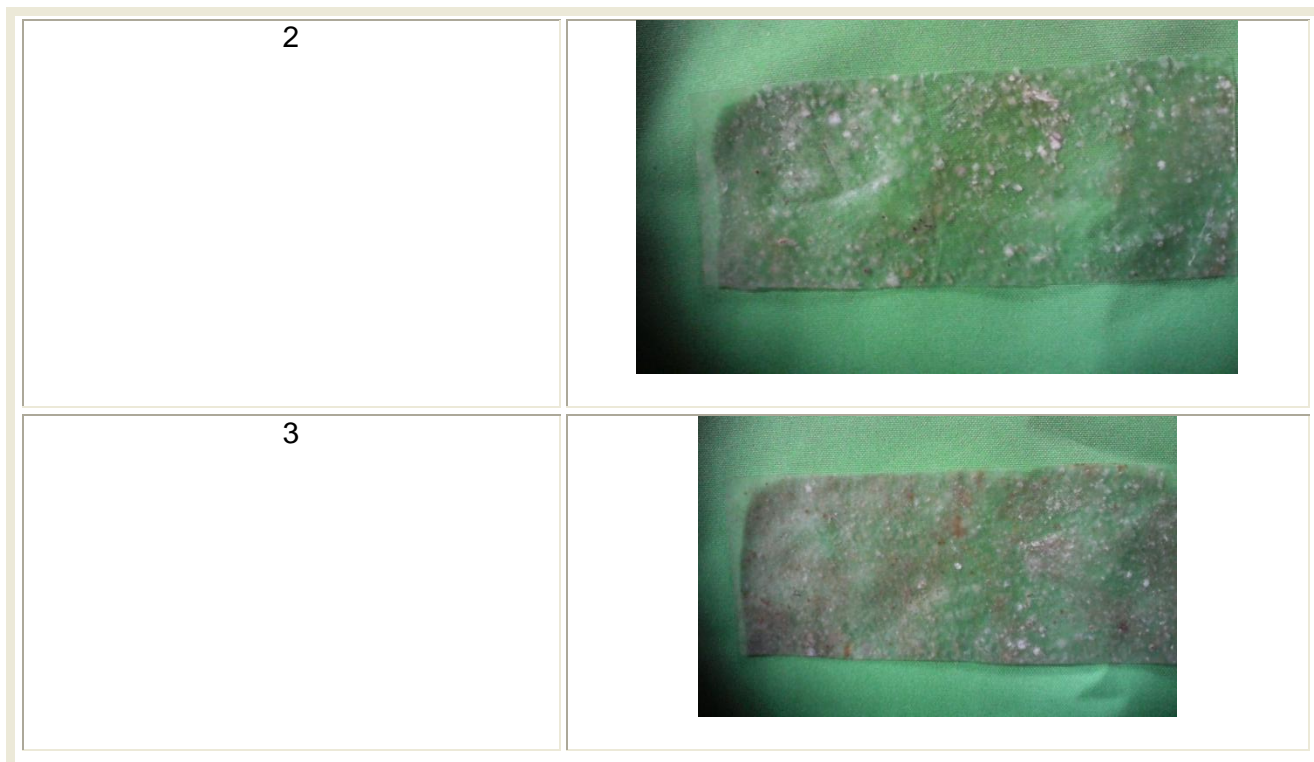
7.3 PRUEBA DE ESPESOR DEL BIOPLASTICO.

PROTOTIPO	ESPESOR PROMEDIO (mm)
4	0.88
5	0.51

NOTA: estos valores están sujetos a la extensión de la película la cual se hizo manual.

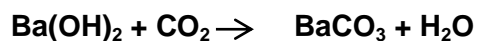
7.4 REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA DEGRADACION DEL BIOPLASTICO (27.1°C Y 82% HUMEDAD RELATIVA)

TIEMPO (MESES)	BIODEGRADACION.
0	
1	



7.5 BIODEGRADABILIDAD

El cálculo se basa en la estequiometria, partiendo de la siguiente reacción que se dio en cada recipiente plástico:



Se tituló el remanente de hidróxido de bario, después de 15 días, con lo que se puede determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que reacciono tomando en cuenta las condiciones originales (solución de hidróxido de bario 0.025 N), como en la reacción puede observarse la relación entre hidróxido y dióxido de carbono es uno a uno, directamente proporcional, por lo cual sabiendo la cantidad que reacciono de uno, se sabe también cuánto reacciono o se ha producido del otro. Para cuantificar el porcentaje de biodegradabilidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ biodegradabilidad} = \frac{\text{gramos } \text{CO}_2 \text{ producidos experimentalmente}}{\text{gramos } \text{CO}_2 \text{ teóricos}} * 100$$

Los resultados de la tierra compostada (blanco), plástico polietileno y el bioplástico se resumen en la siguiente tabla:

MUESTRA	CO₂ PRODUCIDO (GRAMOS)	% BIODEGRADABILIDAD.
TIERRA ABONADA	0.01261 g	0.029%
PLASTICO - (POLIETILENO)	0.01448 g	0.0329%
BIOPLASTICO	0.00346 g	0.0408%

7.6 ANALISIS DE RESULTADOS

7.6.1 FÓRMULAS PROTOTIPO.

La fórmula 5 fue la que cumplió con las expectativas para la realización de la película de bioplástico ya que presentaba muy buena consistencia y mejores propiedades elásticas, no era quebradiza y fue relativamente más resistente que los otros prototipos. En todos los casos solo se logró la producción de una película, no fue posible obtener un prototipo con forma de bandeja que fuera satisfactorio, esto debido mayormente a la falta de una extrusora.

7.6.2 ANALISIS DE RESISTENCIA A LA TRACCION.

La resistencia que determina la norma ASTM D 638 para plásticos es de 14 a 140 MPa. Por consiguiente, la películas correspondientes a los prototipos No 4 y No 5 presentaron una resistencia Tensil de 0.31 MPa y 0.25 MPa respectivamente. En ambos casos, los valores no cumplen la norma; lo cual lleva a concluir que las propiedades físicas del bioplástico producido en el laboratorio son deficientes en comparación con los plásticos comerciales.

7.6.3 ESPESOR DEL BIOPLÁSTICO.

La película de bioplástico obtenida, en todos los casos, no fue uniforme si se compara con un plástico común ya que no se disponía de una maquina extrusora que es la que se encarga de dar el espesor característico de una película de plástico común.

7.6.4 BIODEGRADABILIDAD.

Cualitativamente la película obtenida con la fórmula 5 es degradable ya que se almacenó en condiciones ambientales durante 3 meses (27.1°C y 82% humedad relativa) y presento características físicas que evidenciaron su degradación, todo esto, sin ser sometida a condiciones de compostaje.

De acuerdo a la norma ASTM D – 6400 un material bioplástico puede considerarse biodegradable si genera biomasa (como el bióxido de carbono) producido por microorganismos, en presencia de solución de hidróxido de bario. Lo cual quedo demostrado con el prototipo No 5. Así mismo, se pudo determinar su porcentaje de degradación siendo este mayor que el blanco y el plástico (polietileno); cabe mencionar que este porcentaje es bajo ya que el tiempo de experimentación fue de 15 días y la norma ASTM D - 6400 indica que para obtener porcentajes representativos tienen que efectuarse mediciones por lo menos a los 45 días. Además se modificó el método propuesto en la norma ASTM D - 6400 por muestra insuficiente.

8 CONCLUSIONES

- Una vez concluida la elaboración de un bioplástico a partir del almidón de maíz y evaluar su biodegradabilidad, propiedades fisicoquímicas y mecánicas. Es posible determinar la importancia que guarda el almidón como segundo biopolímero más abundante, y que este puede ser utilizado como componente esencial para la elaboración de un bioplástico, siendo un material alternativo a los plásticos que generalmente son hechos de los derivados del petróleo. Cabe mencionar que no se pudo obtener un prototipo en forma de bandeja que fuera satisfactorio.

- De la elaboración del plástico biodegradable se determinó que la velocidad de secado y cantidades de almidón y glicerina son factores muy importantes, ya que afectan la elasticidad y estabilidad de la película a través del tiempo. Si el secado es rápido y a altas temperaturas se produce un material quebradizo, frágil; por otro lado si esta operación se realiza de forma gradual se obtiene una película elástica y sin cortes. En cuanto a la relación almidón/glicerina, al aumentar las proporciones de esta última en la formulación se obtenía un producto más elástico.
- Bajo las condiciones de temperatura del 27.1°C y humedad relativa entre el 82% se pudo comprobar de forma cualitativa que el plástico se degrada en tres meses según los registros de la prueba de biodegradabilidad.
- En cuanto a las pruebas mecánicas, el bioplástico es un material débil a la resistencia tensil y, por ese motivo no es apto para aplicaciones que requieran una alta resistencia a la compresión. Sin embargo, puede usarse como material de empaque si este no se expone a altas temperaturas (esterilización).
- En cuanto a los resultados de la prueba de bio degradabilidad, basados en una modificación del procedimiento mostrado en la norma ASTM D - 6400. Se demostró que el bioplástico es biodegradable, en el sentido que a medida que el material permanecía en un medio de tierra compostada y microorganismos; la solución de hidróxido de bario que recibió el dióxido de carbono producido y cuya evidencia fue la formación del precipitado de carbonato de bario; todo esto se cuantificó por técnicas volumétricas de titulación ácido – base. Lo que significa, que el proceso enzimático por parte de los microorganismos que atacaron al bioplástico convirtiéndolo en CO₂, humus y agua, fue también efectivo comprobando que el material si es biodegradable. También se compararon los resultados de porcentaje de biodegradabilidad con un plástico comercial de polietileno a las mismas condiciones y el mismo número de días, su comportamiento en el medio no tuvo modificaciones; por lo cual, se confirmó que este plástico no es degradable y que el bioplástico, a parte que es útil como material, puede ejercer una función de un producto compostable a la tierra similar a un abono orgánico. Siendo este

una alternativa en el mercado de los empaques secundarios y así tratar de contribuir a la reducción de la contaminación medio ambiental.

9 RECOMENDACIONES

- Esta investigación se limitó hasta la elaboración de una lámina de bioplástico, se recomienda seguir con el proceso hasta la obtención del prototipo de bandeja.
- Profundizar la investigación en cuanto a probar la biodegradabilidad o compostabilidad del material por otros métodos apegados a las normativas y con equipo adecuado, además del módulo de Young y dureza, que no se pudo determinar por el tipo de probeta que utiliza el equipo.
- Seguir la investigación hasta que el biopolímero se degrade al 100% y determinar el tiempo tardado.
- Involucrar una investigación de tipo económica para conocer la viabilidad de este tipo de material.

10 GLOSARIO

ANAEROBIO: Microorganismo que crece y que vive en ausencia completa o casi completa de oxígeno. Un ejemplo de ello es *Clostridium botulinum*. Son tipos de anaerobios los anaerobios facultativos y los anaerobios estrictos.

BIODEGRADABLE: es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

BIOMASA: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

BIOPOLIMERO: Macromoléculas presentes en los seres vivos.

BIOPLASTICO: tipo de plásticos derivados de productos vegetales, tales como el aceite de soja, el maíz o la fécula de patata, a diferencia de los plásticos convencionales, derivados del petróleo.

COMPOSTABLE: Material orgánico que puede ser convertido en compost.

ECOTOXICO: es un producto químico peligroso con capacidad para ser absorbido por cualquiera de los elementos de un ecosistema y para, por pequeña que sea la cantidad presente, alterar los equilibrios biológicos del mismo.

EXTRUSIÓN: proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.

MACROMOLECULA: son moléculas que tienen una masa molecular elevada, formadas por un gran número de átomos.

POLIFENOLES: grupo de sustancias químicas encontradas en plantas caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenol por molécula. Los polifenoles son generalmente subdivididos en taninos hidrolizables, que son ésteres de ácido gálico de glucosa y otros azúcares; y fenilpropanoides, como la lignina, flavonoides y taninos condensados.

POLIHIDROXIALCANOATOS: o PHA son poliésteres lineales producidos en la naturaleza por la acción de las bacterias por fermentación del azúcar o lípidos. Las bacterias los producen como mecanismo de almacenamiento de carbono y energía. Se usan en la producción de biopolímeros.

POLIMEROS: macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

POLITERPENOS: Consisten en largas cadenas de muchas unidades isopreno. El caucho es un poli-isopreno con el doble enlace en configuración cis. Otro ejemplo importante es el dolicol.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Corrales, María Catalina et al.

Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.

Revista EIA.

Colombia, 2007.

[2] García Amaya, William.

Importancia, distribución y comercialización de envases desechables fabricados a partir de bioplásticos.

Universidad de La Sabana.

Colombia, 2011.

[3] López Álvarez, José Vicente.

Bioplásticos: Efectos e impactos sobre la gestión de envases.

Universidad Politécnica de Madrid.

España, 2010.

[4] Maraculla, José María y Goñi, Félix.

Biomoléculas. Lecciones de Bioquímica Estructural

Reverté.

España, 2002.

[5] Mendoza Reatiga Dolly

Estudio de la Producción de Empaques Plásticos Biodegradables a partir de bioresinas en la Empresa Halcón Plásticos LTDA de Bucaramanga.

Universidad Industrial de Santander.

Colombia, 2009.

[6] Mina, José H et al.

Influencia del tiempo de almacenamiento en las propiedades estructurales de un almidón termoplástico de yuca (TPS).

Revista Ingeniería y Competitividad.

México, 2009.

[7] Ruiz Avilés, Gladys.

Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.

REDALYC: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe.

Colombia, 2006.

12 ANEXOS

ANEXO A.

PARTE EXPERIMENTAL: MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la parte experimental fueron necesarios los siguientes equipos, materiales y reactivos:

MATERIAL Y EQUIPO

Balanza semi-analítica

Espátulas

Pipetas graduadas

Beaker

Agitador de vidrio

Vidrio de reloj

Goteros

Piceta

Hot-plate

Estufa

Bandeja de vidrio

Probeta cilíndrica.

Micrómetro

Capsula de porcelana

Contenedores de plástico

Mangueras

REACTIVOS:

Glicerina

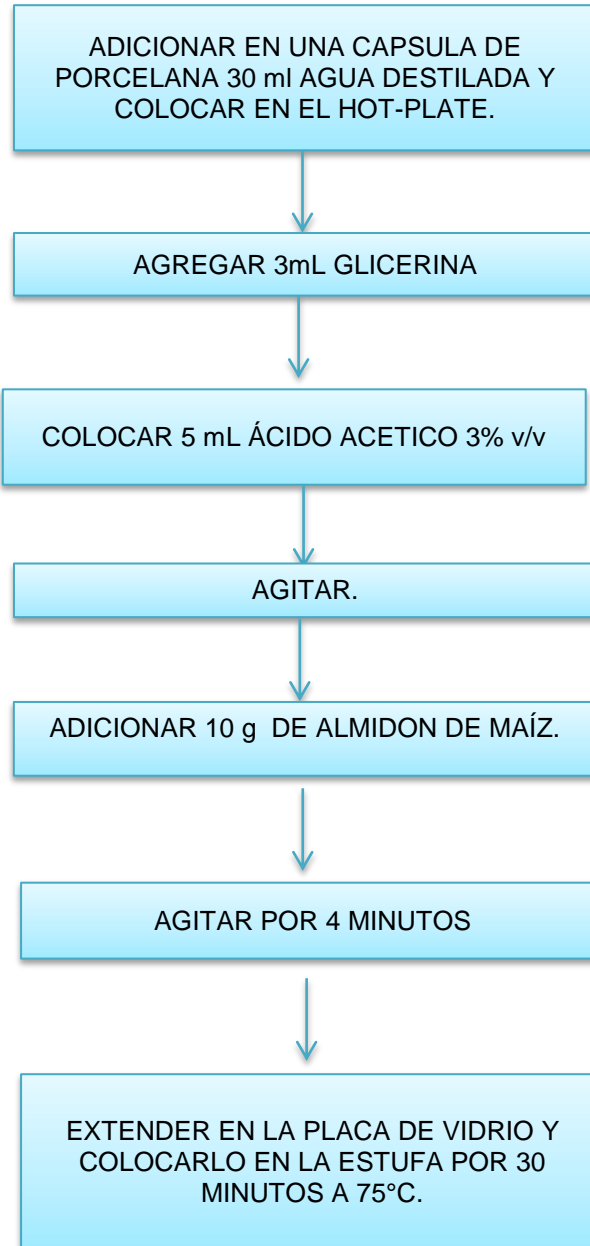
Ácido acético

Agua destilada

Solución de hidróxido de bario 0.25 N

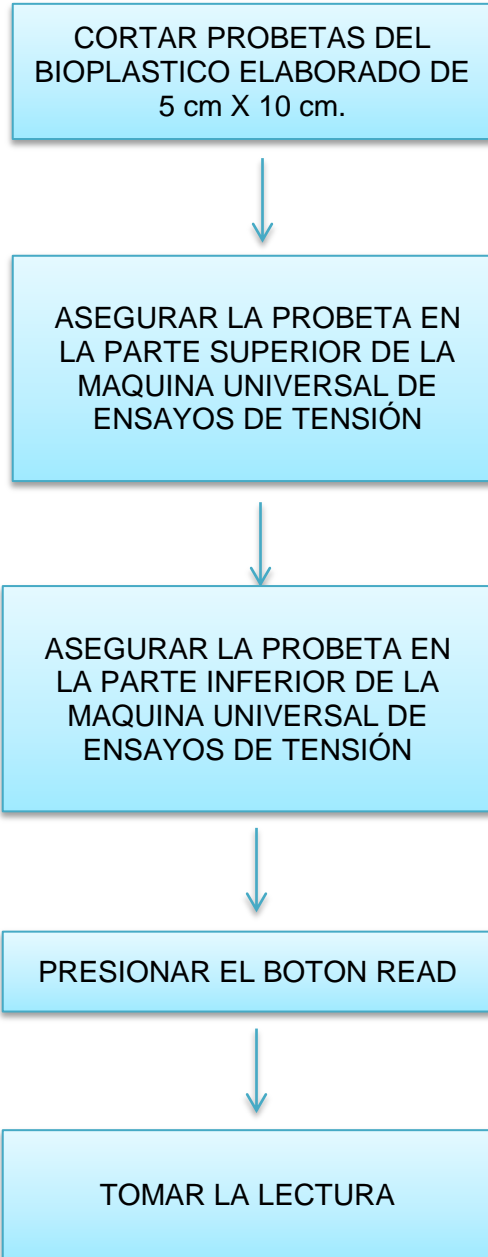
PROCEDIMIENTOS

ELABORACION DEL BIOPOLIMERO

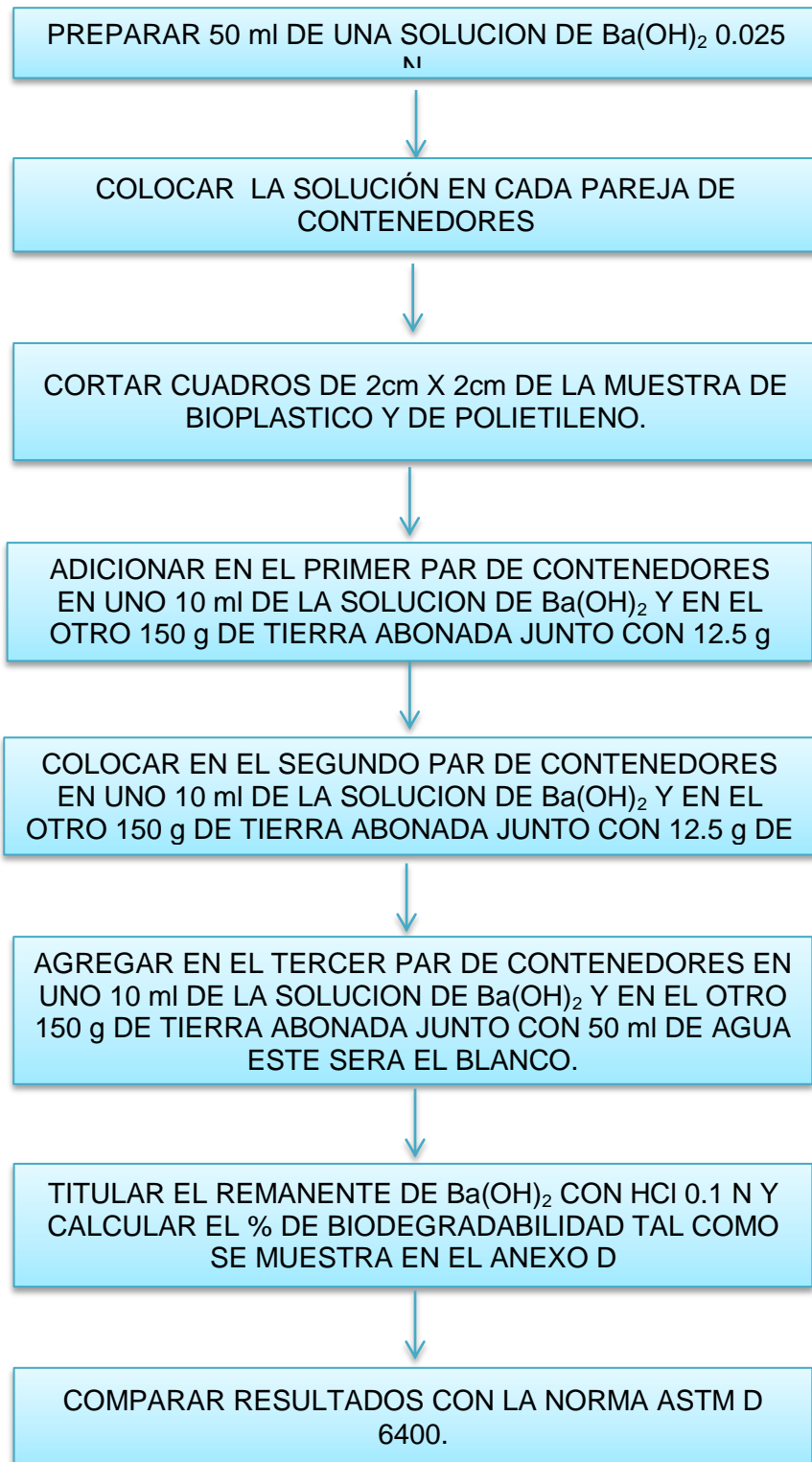


*Para consultar imágenes de este procedimiento remitirse al Anexo B.

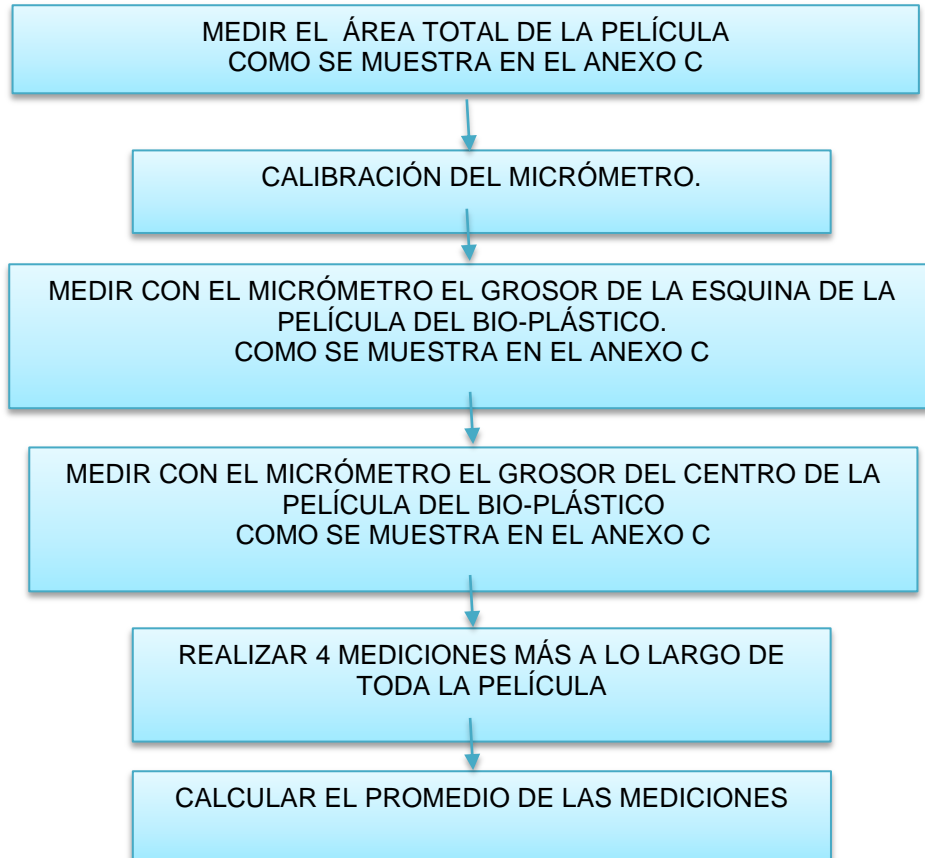
PRUEBA DE RESISTENCIA



PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD.



DETERMINACIÓN DEL ESPESOR



ANEXO B.

REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA ELABORACION DEL BIOPLASTICO.

PROCEDIMIENTO:



FIGURA B1 Materiales y equipo a utilizar.



FIGURA B2 Preparación de ácido acético 3% v/v



FIGURA B3. Pesado del almidón de maíz.



FIGURA B4 medir agua destilada.



FIGURA B5 Medir glicerina

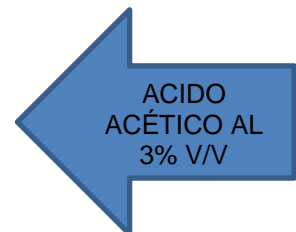


FIGURA B6. Calentamiento y mezclado de materias primas..



FIGURA B7 Moldeo de la mezcla



FIGURA B8. Calentamiento de la mezcla en la estufa



FIGURA B9 Secado a temperatura ambiente.

[Crédito de las imágenes: Oscar Carpio y Lili Estrada, 2013]

**ANEXO C.
REGISTRO FOTOGRAFICO DE PRUEBA DE ESPESOR.**



FIGURA C1 Ajuste del micrómetro.



FIGURA C2 Medición del bioplástico
(Prototipo 4)



FIGURA C3 Medición del bioplástico
(Prototipo 5)

[Crédito de las imágenes: Oscar Carpio y Lili Estrada, 2013]

ANEXO D.
REGISTRO FOTOGRAFICO DE PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD



FIGURA D1 Mecanismo de prueba de biodegradabilidad



Tierra abonada

FIGURA D2 Formación de precipitado de tierra abonada.



Plástico (polietileno)

FIGURA D3. Formación del Precipitado del plástico (polietileno)



Bioplástico

FIGURA D4. Formación de precipitado del bioplástico.



[Crédito de las imágenes: Oscar Carpio y Lili Estrada, 2013]

ANEXO E.
NORMAS UTILIZADAS

ASTM D-6400 Especificación estándar para Compostable plásticos

Esta norma cubre los plásticos y los productos elaborados a partir de plásticos que están diseñados para ser compostado en municipales y las instalaciones de compostaje aeróbico industriales.

ASTM D-6868 Especificación estándar para Plásticos biodegradables utilizados como revestimientos en papel y Otros CompostableSubstrates

Esta norma cubre los plásticos biodegradables y productos (incluido el envasado), donde la película de plástico o lámina es adjunta (ya sea a través de laminación o extrusión directamente sobre el papel) a sustratos y el producto o paquete completo es diseñado para ser compostados en aeróbica municipales e industriales instalaciones de compostaje.

NORMATIVA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN

La norma ASTM es D 638 (D 638 M es métrica). La unidad SI es el pascal ($\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$), pero también se usa la libra por pulgada cuadrada (psi). Los plásticos comerciales sin plastificar ni llevar fibras muestran desde 14 hasta 140 MPa (2 a 20 psi)

ANEXO F.

PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA TRACCION.



FIGURA F1. Maquina universal



FIGURA F 2. Calibración del equipo



FIGURA F3. Colocación de las probetas en los brazos metálicos.



FIGURA F4. Estiramiento de la probeta



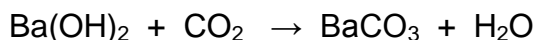
FIGURA F5. Lectura final representada en Newton.

[Crédito de las imágenes: Isaac Aquino y Marcelo Alvarado, 2014]

ANEXO G

PORCENTAJE DE BIODEGRADABILIDAD.

El cálculo se basa en la estequiometría, partiendo de la siguiente reacción que se dio en cada recipiente plástico.



Se procede a titular entonces el remanente de hidróxido de bario, después de 15 días, con lo que se puede determinar la cantidad que reacciono tomando en cuenta las condiciones originales (solución de hidróxido de bario 0.025 N), como en la reacción puede observarse la relación entre hidróxido y dióxido de carbono es uno a uno, directamente proporcional, por lo cual sabiendo la cantidad que reacciono de uno, se sabe también cuánto reacciono o se ha producido del otro.

Así:

g Ba(OH)₂ iniciales : 0.0214 g (es decir lo que hay en 10 mL de sln 0.025 N de hidróxido en el día cero).

g Ba(OH)₂ día 15 = NHCl x VHCl x (meq hidróxido de bario).

Para el blanco:

g Ba(OH)₂ día 15 = 0.0808 x 1.27 ml x (171.34/2000) = 0.00879 gramos.

Gramos que reaccionaron: gramos iniciales – gramos día 15.

Gramos que reaccionaron = 0.0214 – 0.00879 = 0.01261 g

Porcentaje biodegradabilidad = g CO₂ producidos experimentalmente/ gCO₂ teóricos.

%Biodegradabilidad = 0.01261 g *100/ 44 g = 0.029%

PARA EL PLASTICO:

g Ba(OH)₂ día 15 = 0.0808 x 1.0 ml x (171.34/2000) = 0.00692 gramos.

g reaccionaron = 0.0214 – 0.00692 = 0.01448 g

%Biodegradabilidad = 0.01448 g *100/ 44 g = 0.0329%

PARA EL BIOPLASTICO:

$\text{g Ba(OH)}_2 \text{ día 15} = 0.0808 \times 0.5 \text{ ml} \times (171.34/2000) = 0.00346 \text{ gramos.}$

$\text{g reaccionaron} = 0.0214 - 0.00346 = 0.01794 \text{ g}$

$\% \text{Biodegradabilidad} = 0.01794 \text{ g} \times 100 / 44 \text{ g} = 0.0408\%$

www.itca.edu.sv



UN FUTURO LLENO DE OPORTUNIDADES

Escuela Especializada
en Ingeniería

ITCA  **FEPADE**

SANTA TECLA - ZACATECOLUCA - SAN MIGUEL - SANTA ANA - LA UNIÓN

megatec
EDUCACIÓN TÉCNICA,
TECNOLÓGICA Y SUPERIOR

MINISTERIO DE EDUCACIÓN
GOBIERNO DE
EL SALVADOR
UNÁMONOS PARA CRECER

Sede Central Santa Tecla
Km. 11 Carretera a Santa Tecla.
Tel. (503) 2132-7400
Fax. (503) 2132-7599

**Centro Regional
MEGATEC La Unión**
C. Santa María, Col. Belén, atrás del
Instituto Nacional de La Unión.
Tel. (503) 2668-4700

**Centro Regional
MEGATEC Zacatecoluca**
Km. 64 1/2, desvío Hacienda El Nilo,
sobre autopista a Zacatecoluca y
Usulután. Tel. (503) 2334-0763, (503)
2334-0768 Fax. (503) 2334-0462

Centro Regional San Miguel
Km. 140, Carretera a Santa Rosa de
Lima.
Tel. (503) 2669-2292, (503) 2669-2299
Fax. (503) 2669-0961

Centro Regional Santa Ana
Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia
Tel. (503) 2440-4348, (503) 2440-2007
Tel. Fax. (503) 2440-3183

