



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (*Zea mays*)**

Ana Gabriela Gálvez Arévalo

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (*Zea mays*)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANA GABRIELA GÁLVEZ ARÉVALO

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

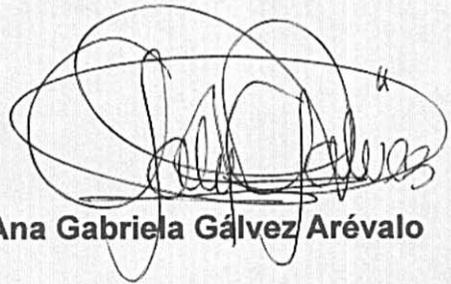
DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (*Zea mays*)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de noviembre de 2014.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ana Gabriela Gálvez Arévalo', enclosed within a large, loopy scribble.

Ana Gabriela Gálvez Arévalo



Guatemala, 28 de enero de 2016

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por este medio me dirijo a usted para saludarle deseándole éxitos en sus actividades y al mismo tiempo informarle que he revisado y aprobado el informe final del trabajo de graduación titulado: **“ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (*Zea mays*)”**, el cual se llevó a cabo por la estudiante de Ingeniería Química: **Ana Gabriela Gálvez Arévalo**, identificada con el carné No. **201114061**.

Considerando que dicho documento cumple satisfactoriamente con los requisitos exigidos, solicito sirva darle continuidad al proceso para su aprobación.

Agradeciendo su atención, me suscribo atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Hilda Piedad Palma De Martini
Colegiado No.453
Asesora de Trabajo de Graduación

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 05 de abril de 2016.
 Ref. EIQ.TG-IF.021.2016.

Ingeniero
 Carlos Salvador Wong Davi
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **087-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Ana Gabriela Gálvez Arévalo**.
 Identificada con número de carné: **2011-14061**.
 Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN
 EXTRAÍDO DEL MAÍZ (*Zea mays*)**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Gerardo Ordoñez
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.030.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **ANA GABRIELA GÁLVEZ ARÉVALO** titulado: **"ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (ZEA MAYS)"**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala

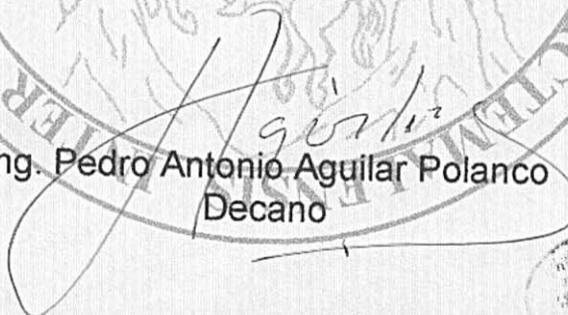


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.233-.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL Maíz (*Zea mays*)**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Gabriela Gálvez Arévalo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme una vida maravillosa, permitirme culminar esta meta y por todas las bendiciones que me da siempre.
- Mis padres** Sofía Arévalo y Juan Carlos Gálvez, por ser mi mayor ejemplo, porque siempre creyeron en mí y me dieron todo para ser la persona que soy, los amo demasiado.
- Mis abuelos** María del Socorro Duarte, Adela Arévalo, Esthela Ávila y José María Gálvez, por brindarme su sabiduría, apoyarme en todo este camino y darme todo su amor.
- Mis hermanos** Rocio Alejandra y José Carlos Gálvez Arévalo, por ser dos ángeles que le dan la alegría a mi vida, son mis mayores tesoros.
- Mis tíos** Adela y Erwin Arévalo; Jorge y Sergio Gálvez, por ser una importante influencia en mi vida y ser mi motivación para la superación.
- Mis primos** Eduardo, Alejandro, Diego y Andrea Arévalo, Sergio y Adrián Gálvez, por sacar mi niño interior y permitirme olvidar las preocupaciones.

Mis amigos

Allan Rivas, Ethiel Zapeta, Laura Pimentel, Pedro García, Óscar Domínguez, Iván Gálvez, Luis Polanco, Jetro Hernández, por apoyarme siempre, darme tantas alegrías, por sus consejos y hacer que esta etapa la lograra superar.

Ronald Mendizábal

Por ser esa persona especial en mi vida, por motivarme a siempre seguir adelante, y su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la institución que me brindó los estudios, experiencias y conocimientos, para formarme como un profesional que puede contribuir con el desarrollo de Guatemala.

Facultad de Ingeniería

Por ser el centro de enseñanza que inculcó en mí, la responsabilidad, el trabajo y la dedicación. Por ser mi segundo hogar y haberme formado dentro de sus aulas con conocimientos, experiencias, y por crear en mí la pasión por mi carrera.

**Asesora Inga. Hilda
Palma**

Por el tiempo dedicado, sus consejos y las experiencias enseñadas para culminar mi formación profesional.

**Laboratorio de
Fisicoquímica, Escuela
de Ingeniería Química**

Por darme su apoyo y brindarme sus instalaciones para realizar la parte experimental de este trabajo de investigación.

Empresa de fertilizantes

Por brindarme sus instalaciones para realizar la parte experimental de este trabajo de investigación.

**Centro de
Investigaciones de
Ingeniería**

Por brindarme sus conocimientos y asesoría
para realizar los métodos de análisis
específicos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Justificación	2
1.2. Determinación del problema.....	3
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Delimitación	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Polímero	5
2.1.1. Polímeros naturales.....	5
2.1.2. Polímeros sintéticos.....	6
2.2. Propiedades de los polímeros	6
2.2.1. Termoplásticos	7
2.2.2. Termoestables.....	7
2.2.3. Elastomeros.....	7
2.2.4. Fibras.....	7
2.3. Plásticos	7
2.4. Aditivos básicos de un plástico.....	8

2.4.1.	Plastificantes	8
2.4.2.	Estabilizadores	8
2.4.3.	Pigmentos	8
2.4.4.	Sustancias ignifugas	9
2.4.5.	Sustancias antiestáticas	9
2.4.6.	Reforzantes	9
2.5.	Propiedades de los plásticos.....	9
2.6.	Bioplástico	10
2.7.	Clasificación por su proceso de fabricación	10
2.7.1.	Por biomasa	10
2.7.2.	Por síntesis química	10
2.7.3.	Por microorganismos	10
2.7.4.	Por mezcla de polímeros biodegradables	11
2.8.	El almidón como materia prima de bioplásticos	11
2.8.1.	Plastificantes para el bioplástico	12
2.8.1.1.	Glicerina	12
2.8.1.2.	Urea	13
2.9.	Problemática ambiental.....	13
2.10.	Desarrollo sostenible.....	13
2.11.	Degradabilidad	14
2.12.	Mecanismos de degradabilidad.....	14
2.12.1.	Biodegradabilidad.....	14
2.12.2.	Compostabilidad.....	15
2.12.3.	Erodabilidad	15
2.12.4.	Hidrobiodegradación y fotobiodegradación	15
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
3.1.	Variables	17
3.1.1.	Variables de operación.....	17

	3.1.1.1.	Tiempo de agitación	17
	3.1.1.2.	Presión	17
3.1.2.		Variables de proceso	17
	3.1.2.1.	Temperatura	18
	3.1.2.2.	Masa de reactivos.....	18
	3.1.2.3.	Reactivos.....	18
	3.1.2.4.	Tiempo de degradación	18
3.2.		Delimitación del campo de estudio	19
	3.2.1.	Campo de estudio.....	19
	3.2.2.	Etapas que conforman la investigación	20
	3.2.3.	Ubicación del desarrollo de la investigación	20
3.3.		Recursos humanos disponibles.....	20
3.4.		Recursos materiales disponibles	21
	3.4.1.	Equipo	21
	3.4.2.	Cristalería	21
	3.4.3.	Reactivos	22
3.5.		Técnica cualitativa o cuantitativa	22
	3.5.1.	Técnica cualitativa	22
	3.5.2.	Técnica cuantitativa	22
3.6.		Recolección y ordenamiento de la información	23
	3.6.1.	Preparación de los reactivos para las mezclas.....	23
	3.6.2.	Procedimiento metodológico experimental	24
		3.6.2.1. Procedimiento para la elaboración del plástico biodegradable	24
		3.6.2.2. Caracterización cualitativa y física de los bioplásticos elaborados.....	25
		3.6.2.3. Ensayo de degradabilidad	26
3.7.		Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	28

3.7.1.	Tabulación de los datos por número de mezclas	28
3.8.	Análisis estadístico.....	31
3.8.1.	Medidas de tendencia central.....	31
3.8.2.	Medidas de dispersión	31
3.8.3.	Diferencia de medias.....	32
3.9.	Plan de análisis de los resultados	34
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	34
3.9.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	34
3.9.2.1.	Microsoft Office Excel 2010.....	34
3.9.2.2.	Microsoft Office Word 2010	34
3.9.2.3.	InfoStat.....	35
4.	RESULTADOS.....	37
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
	CONCLUSIONES.....	45
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	APÉNDICES.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Morfología del almidón de maíz	12
2.	Recolección y ordenamiento de los datos según la temperatura	25
3.	Recolección y ordenamiento de los datos según la caracterización cualitativa y física	26
4.	Recolección y ordenamiento de los datos según la degradabilidad	27
5.	Tiempo para la formación de los bioplásticos variando la temperatura	37

TABLAS

I.	Definición operacional de las variables	19
II.	Proporciones de los reactivos en las distintas mezclas	24
III.	Tiempo de formación del bioplástico para la mezcla 1	28
IV.	Tiempo de formación del bioplástico para la mezcla 1	29
V.	Caracterización cualitativa del bioplástico	29
VI.	Caracterización física del bioplástico	30
VII.	Ensayo de degradabilidad del bioplástico de la mezcla 1	30
VIII.	Ensayo de degradabilidad del bioplástico de la mezcla 2	30
IX.	Tabla de Andeva	32
X.	Descripción de la figura 5	38
XI.	Caracterización cualitativa de los bioplásticos	38
XII.	Caracterización física de los bioplásticos	38

XIII. Degradación de los bioplásticos por intemperie y por agua en un lapso de treinta días.....38

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a	Ancho
A	Área
k	Cantidad de clases
c	Carga
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
CM	Corrección de medias
MSE	Corrección de medias de errores
MST	Corrección de medias de tratamientos
S	Desviación estándar
E	Esfuerzo
e	Espesor
C₃H₈O₃	Glicerina
°C	Grados Celsius
gl	Grados de libertad
g	Gramo
kg	Kilogramo
x_{ij}	Medición j de la muestra i
min	Minuto
min²	Minuto cuadrado
x_i	Muestra i
α	Nivel de significancia
%	Porcentaje

\bar{x}_i	Promedio de la muestra i
SC	Suma de cuadrados
SSE	Suma de cuadrados de errores
SST	Suma de cuadrados de tratamientos
SStotal	Suma de cuadrados total
Σ	Sumatoria
n	Tamaño de clase
CH₄N₂O	Urea
F	Valor F de prueba
p	Valor F crítica
S²	Varianza

GLOSARIO

Biomasa	Materia orgánica derivada de animales o vegetales.
Bioplástico	Polímero fabricado con materias primas renovables y que se degrada bajo condiciones ambientales en un período corto de tiempo.
Degradación	Reducción de un compuesto químico a uno menos complejo, por separación de grupos de átomos.
Desnaturalizar	Un cambio estructural de las proteínas donde pierden su estructura nativa, cambiando sus propiedades fisicoquímicas.
Esfuerzo	Resistencia que ofrece un área unitaria de un material al aplicarle una carga externa.
Extrusión	Proceso de moldeado de plástico, en el que un flujo continuo con presión, al pasar por un molde, le da la forma deseada.
Hidrofílico	Propiedad de un material para atraer moléculas de agua.

Imbibición	Movimiento de las moléculas de agua en una sustancia, para aumentar el volumen por la hidratación.
Monómero	Átomos individuales o pequeñas moléculas que se unen para formar polímeros.
Plastificante	Sustancia empleada para añadir propiedades mecánicas y características físicas a un material plástico.
Puente de hidrógeno	Se forman por átomos de hidrógeno localizados entre átomos electronegativos.
Tensión	Efecto de aplicar una fuerza sobre una forma alargada aumentando su longitud.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo elaborar un plástico biodegradable a partir del almidón obtenido del maíz, mediante un proceso de imbibición, utilizando dos diferentes constituyentes que actúan como plastificantes: la glicerina ($C_3H_8O_3$) y la urea (CH_4N_2O). Empleando variaciones en la proporción de los componentes de la mezcla y la temperatura de trabajo.

En la producción del plástico biodegradable, la mezcla fue agitada, variando la temperatura en 80, 90 y 100 °C, para determinar el tiempo de proceso, estableciendo que el tiempo de formación es inversamente proporcional a la temperatura. Logrando que, para la temperatura de cien grados Celsius se obtuviera el menor tiempo de proceso.

Al caracterizar cualitativamente las muestras de bioplástico, se obtuvo que estas presentaron color amarillo, transparencia leve y cuentan con una textura lisa, independientemente de la composición que se utilizó para formarlos.

Se realizó la caracterización física de los bioplásticos elaborados por medio de un ensayo de esfuerzo, se obtuvo que las dos mezclas realizadas cuentan con valores significativamente diferentes; al añadirle urea el esfuerzo fue de 2,89 kg/cm², mientras que al no añadirle se logró alcanzar un esfuerzo de 11,36 kg/cm².

En el ensayo de degradabilidad, al someter ambas mezclas a la intemperie y agua por treinta días, se determinó que perdieron mayor peso al estar en contacto con el agua. La mezcla que contenía urea logró disminuir su pérdida de peso en un 24 %, la mitad del porcentaje de la mezcla que no contenía que alcanzó una pérdida de 42 %, permitiendo que su vida útil se amplíe.

Los bioplásticos elaborados con almidón de maíz, puede competir con los plásticos hechos con petróleo como el polietileno, el polipropileno y el poliestireno; debido a que cuentan con características cualitativas y físicas apropiadas, y un tiempo corto de degradación aproximadamente de 90 días.

OBJETIVOS

General

Elaborar un plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz, empleando dos plastificantes: la glicerina y la urea, modificando la temperatura del procedimiento y la proporción de los componentes de la mezcla.

Específicos

1. Realizar el plástico biodegradable, variando las proporciones del almidón y los plastificantes (10 % almidón y 90 % plastificantes).
2. Determinar el tiempo para realizar el plástico biodegradable al variar la temperatura del procedimiento a ochenta, noventa y cien grados Celsius.
3. Caracterizar cualitativamente, observando el color, la transparencia y la textura de los distintos bioplásticos obtenidos de la variación de las condiciones de proceso.
4. Caracterizar físicamente midiendo el esfuerzo de los distintos bioplásticos obtenidos de la variación de las condiciones de proceso.
5. Determinar la degradación del bioplástico por intemperie y por agua en un estudio de treinta días.

Hipótesis

El almidón extraído del maíz puede ser utilizado como materia prima en la producción de un plástico biodegradable mediante el proceso de imbibición, variando la proporción en que se añaden los componentes de la mezcla (10 % almidón y 90 % plastificantes) y la temperatura del proceso (80-100 °C).

Hipótesis nula

No existen diferencias significativas entre las medias de esfuerzo de los plásticos biodegradables elaborados con distinta proporción de los componentes de la mezcla (almidón, agua, glicerina, urea).

Hipótesis alternativa

Existen diferencias significativas entre las medias de esfuerzo de los plásticos biodegradables elaborados con distinta proporción de los componentes de la mezcla (almidón, agua, glicerina, urea).

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los plásticos que utilizan los seres humanos son los provenientes del petróleo, generando así, grandes cantidades de este material que contaminan el agua, la tierra, el aire y por ende, afectan a los animales; es por esto que se busca la no dependencia de dicho plástico, empleando nuevas soluciones como los plásticos biodegradables.

Para la fabricación de los plásticos biodegradables se utilizan distintas materias primas como: celulosas, almidón, aceites, azúcares, entre otras. Enfocándose, especialmente en el producido por almidón obtenido de tubérculos, raíces y semillas de plantas; los cuales son fáciles de procesar y tienen un alto potencial para la producción de almidón.

En el caso del almidón de maíz se obtiene de la trituración del producto, añadiéndole agua, decantando y dejando fermentar, para finalmente secarlo y obtener el producto de manera industrial.

Las principales ventajas que proporcionan los plásticos biodegradables son que no producen contaminación en su producción y que pueden degradarse en el medio ambiente, como lo hace la materia orgánica, de manera rápida y sin provocar daños. Por otra parte, su principal desventaja es el precio en comparación con el plástico elaborado con petróleo, lo cual se solucionaría con el aumento de la producción y uso.

Los plásticos biodegradables hechos de almidón resultan quebradizos, y a menos que el almidón se mezcle con otros materiales, como los plastificantes o

se modifique químicamente, no sirve para fabricar productos flexibles y resistentes. Obteniendo así, que los productos fabricados están limitados por sus pobres propiedades mecánicas y su baja estabilidad frente a condiciones ambientales en las que la humedad es elevada.

Actualmente, hay un gran número de empresas en todo el mundo involucradas en el desarrollo de nuevos y mejores plásticos biodegradables, ya sean derivados de almidón o de otra materia prima. Las empresas líderes se encuentran en Estados Unidos de Norte América, Canadá, Japón, y la Unión Europea, aunque otros países como Australia, Brasil, Corea y China se están agregando a la lista.

El propósito será entonces obtener el plástico biodegradable mediante el procedimiento de calentar y agitar el almidón con agua, adicionando dos plastificantes, glicerina y urea. Caracterizándolos físicamente, observando sus propiedades cualitativas y analizando su degradación en un período de treinta días.

1. ANTECEDENTES

Debido a la cantidad de problemas que generan los plásticos procedentes del petróleo sobre el medio ambiente y su gran escala de producción que evita que la naturaleza pueda degradarlos, muchas personas se han dado a la tarea de investigar sobre fuentes alternativas.

Como resultado de estas investigaciones han surgido varias alternativas naturales que pueden constituir una vía factible para reemplazar a los plásticos de uso habitual. Un ejemplo es el bioplástico fabricado a partir del almidón, que es natural, barato y abundante debido a su fácil obtención a partir de diversas fuentes vegetales. De este modo, su uso puede sustituir a los plásticos sintéticos, permitiendo al mismo tiempo, disminuir el problema de la acumulación de desechos plásticos y reducir la dependencia sobre el petróleo. Sin embargo, sus propiedades aún no son comparables a las de los polímeros derivados del petróleo, siendo necesario continuar con su desarrollo.

En diciembre de 2009, en la Universidad Carlos III de Madrid se realizó un trabajo de graduación titulado: *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente* por el estudiante de Ingeniería Técnica Industrial Javier Meré Marcos; en el que se desarrolla una metodología para obtener el bioplástico a partir del almidón de papa y utilizando cinco distintos plastificantes, los cuales se distribuyeron en treinta y seis mezclas que variaban su composición y las condiciones de trabajo; obteniendo de todas ellas un biopolímero termoplástico opaco y poco flexible.

En 2013, en la Universidad de San Carlos de Guatemala el estudiante de la carrera de Química Farmacéutica, Carlos Humberto Iguardia Arrivillaga, realizó el trabajo de graduación titulado: *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde*. En el que se propone utilizar como materia prima el almidón extraído del banano verde para poder realizar el bioplástico. Posteriormente, se evaluaron sus características fisicoquímicas y se realizaron ensayos de degradabilidad; obteniendo que una de las mezclas propuestas proporcionó un material con características útiles para aplicaciones industriales.

1.1. Justificación

La contaminación por plásticos derivados del petróleo es un problema difícil de tratar en el país porque se utilizan diariamente una cantidad elevada de dicho material, acumulándose por su baja degradabilidad en el medio ambiente. Es por esto, que se buscan nuevas alternativas que puedan competir en la industria sin provocar daños y con características similares, planteándose los bioplásticos como una opción factible.

Para realizar bioplásticos se busca obtener nuevas materias primas o realizar estudios de las ya existentes para formular un producto de calidad. Enfocándose en las que permitan su fácil obtención, un precio bajo y un alto rendimiento.

En todas las regiones de Guatemala existe una alta producción de maíz, de la cual se podría destinar un porcentaje mínimo para combatir la contaminación por plásticos dañinos.

En esta investigación se propone mezclar almidón, agua, glicerina y urea; para obtener un bioplástico que se degrada en una cantidad de tiempo inferior al plástico elaborado con derivados del petróleo, como el polietileno, el polipropileno y el poliestireno; sin dañar el agua, la tierra, el aire, a los animales y que no genere la acumulación. Por lo que se realizarán dos distintas mezclas y se variarán las condiciones para generar un bioplástico con características físicas y cualitativas que pueda utilizarse en un futuro como sustituto de los plásticos derivados del petróleo y en otras aplicaciones industriales.

1.2. Determinación del problema

Se genera una alta contaminación a partir del uso de los plásticos derivados del petróleo, los cuales se degradan en un período de tiempo de aproximadamente 200 años, haciendo que su acumulación genere un problema. Por lo que se busca producir un producto que sustituya este plástico, con propiedades semejantes, fáciles de producir y que se degrade rápidamente.

1.2.1. Definición

La generación de un bioplástico a partir del almidón de maíz que sustituirá los plásticos derivados del petróleo, como el polietileno, el polipropileno y el poliestireno; es posible generarlo a partir de una mezcla con plastificantes para obtener las mismas características, pero degradándose en un tiempo inferior, disminuyendo así el porcentaje de acumulación de residuos.

1.2.2. Delimitación

Se realizará la caracterización física y cualitativa de los bioplásticos elaborados a partir de las distintas proporciones de dos plastificantes con el almidón, y distintas condiciones en el procedimiento, realizando a su vez ensayos de degradabilidad, para establecer si se puede utilizar como sustituto de los plásticos derivados del petróleo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Polímero

Es una molécula grande, resultado de la unión de pequeñas unidades químicas simples. Por lo general, la unidad que se repite es equivalente al monómero del que se forma el polímero. Estos monómeros pueden estar colocados en cadena o en posiciones de ramificación.

Por el número de unidades repetitivas que formen el polímero se establece su longitud, al que se le llama grado de polimerización. Los polímeros poseen alto peso molecular debido a que este se debe multiplicar por su grado de polimerización, obteniendo que los polímeros utilizados comúnmente en la industria lleguen a tener un peso molecular de hasta 1 000 000. El alto peso molecular permite que las fuerzas entre los enlaces sean lo suficientemente grande que proporcionen características como la resistencia, la estabilidad y otras propiedades mecánicas.

2.1.1. Polímeros naturales

Estos han sido utilizados desde hace mucho tiempo atrás. Asimismo, las resinas y las gomas naturales desde hace miles de años, incluso en los grandes imperios debido a que el hombre siempre ha dependido de la materia vegetal y animal para sus necesidades y deseos.

Entre los polímeros naturales están el almidón y el algodón, cuyo monómero es la glucosa. Las proteínas son otros polímeros importantes de

polímeros naturales, las cuales están formadas por aminoácidos. Incluso el ácido desoxirribonucleico es otro polímero natural, cuya unidad repetitiva es el ácido nucleico.

2.1.2. Polímeros sintéticos

Estos surgen de la escasez de polímeros naturales, siendo entonces los polímeros sintéticos los creados por el hombre en un laboratorio o en la industria. Son elaborados a partir de elementos propios de la naturaleza y sus características son similares a las de los polímeros naturales para que puedan cumplir la misma función.

Entre los polímeros sintéticos están el *nylon*, el poliestireno, el policloruro de vinilo, el polietileno, los plásticos, entre otros.

2.2. Propiedades de los polímeros

Los polímeros no difieren mucho de otras moléculas orgánicas. La química de los polímeros es similar a la de la unidad repetitiva, mientras que las propiedades físicas son la diferencia principal entre las moléculas orgánicas pequeñas y las grandes.

En general, los polímeros se clasifican en cuatro categorías importantes según su comportamiento físico:

2.2.1. Termoplásticos

Son los polímeros que permiten una deformación cuando son calentados, varias veces, y cuando están a temperatura ambiente son rígidos. Estos materiales pueden ser reciclables. Por ejemplo, el poliestireno y el polietileno.

2.2.2. Termoestables

Son los polímeros que al ser moldeados ya no permiten cambiar su forma, es decir, que al ser calentados ya no permiten deformación. Estos materiales no se pueden reciclar.

2.2.3. Elastomeros

Son polímeros amorfos que pueden sufrir deformaciones elásticas fácilmente sin que se modifique su estructura. El ejemplo más común es el hule natural.

2.2.4. Fibras

Son hebras delgadas producidas por extrusión de un polímero fundido a través de pequeños orificios en una matriz, después se enfrían y extraen. Tienen una alta resistencia a la tensión. Por ejemplo el *nylon* y el *dacrón*.

2.3. Plásticos

Son polímeros sintéticos que pueden ser moldeados en una etapa de su elaboración. Son los termoplásticos, pero la mayoría de personas les llaman plásticos.

2.4. Aditivos básicos de un plástico

Los plásticos pueden adaptar múltiples formas para una variedad extensa de aplicaciones industriales. Para conseguir plásticos que se adecuen a aplicaciones específicas se le colocan aditivos, las cuales son sustancias agregadas a los plásticos antes, después o durante su elaboración para modificar o agregar propiedades.

2.4.1. Plastificantes

Son componentes que mejoran la flexibilidad y procesabilidad. Un plastificante óptimo debe ser polar, hidrofílico y ser compatible con el almidón. Otro requerimiento importante es que su punto de ebullición sea inferior a la temperatura de los procedimientos utilizados.

2.4.2. Estabilizadores

Son utilizados para aumentar la fuerza de los polímeros naturales y su resistencia a la degradación. Los estabilizadores proporcionan protección al calor, a los efectos de la luz y a los ambientes oxidantes. Se utilizan comúnmente resinas y antioxidantes.

2.4.3. Pigmentos

Son sustancias insolubles que permiten colorear los plásticos, normalmente deben tener fácil dispersión, resistencia a la temperatura de proceso y elevada opacidad. Frecuentemente se utilizan óxido de titanio, negro de humo y los óxidos de hierro que se utilizan para plásticos que estarán en contacto con los alimentos o la piel.

2.4.4. Sustancias ignifugas

Son importantes para la reducción del riesgo de que los plásticos sean inflamables y aminoran la propagación del fuego. Estas sustancias no deben ser tóxicas ni liberadas como gas en caso de incendio, tampoco afectar las propiedades mecánicas de los plásticos y deben ser degradables.

2.4.5. Sustancias antiestáticas

Son sustancias que reducen la carga electrostática en toda la superficie del plástico disminuyendo la resistencia de superficie. Son polares e higroscópicas, atraen la humedad para aumentar la conductividad superficial.

2.4.6. Reforzantes

Son sustancias para mejorar la resistencia y la rigidez de los polímeros filamentos. Normalmente se utiliza fibra de vidrio o de carbono.

2.5. Propiedades de los plásticos

Entre las propiedades más comunes que adquieren los plásticos están:

- Resistencia a la rotura
- Capacidad de aislamiento tanto eléctrico como térmico
- Baja densidad
- Impermeabilidad de humedad, luz y gases
- Resistencia al contacto con sustancias químicas

2.6. Bioplástico

Son polímeros naturales fabricados a partir de materias primas renovables y que se degradan bajo condiciones ambientales en un período corto de tiempo. Esta degradación se debe dar en un compostaje natural, aproximadamente en 90 días y en un medio húmedo entre 28 a 60 días.

2.7. Clasificación por su proceso de fabricación

A continuación se describen las clasificaciones de un bioplástico por su proceso de fabricación.

2.7.1. Por biomasa

Son extraídos o removidos directamente de la biomasa como los polisacáridos (almidón y celulosa) o las proteínas (caseína, queratina y colágeno).

2.7.2. Por síntesis química

Son producidos por síntesis química clásica, utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables, como el ácido poliláctico y poliácidos glicoles.

2.7.3. Por microorganismos

Son producidos por bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente, como polihidroxicanoatos y poli-3 hidroxibutarano.

2.7.4. Por mezcla de polímeros biodegradables

Son producidos al mezclar dos o más polímeros biodegradables, como el polivinilalcohol y las policaprolactonas.

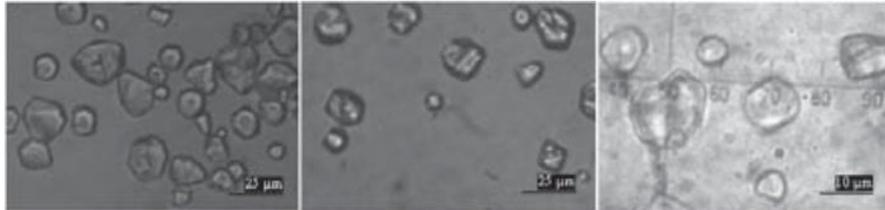
2.8. El almidón como materia prima de bioplásticos

El almidón es un polisacárido vegetal que se encuentra en tubérculos, raíces y semillas de plantas. Su función es ser la reserva de los carbohidratos de los vegetales. Se presenta en la naturaleza en forma de gránulos.

Los gránulos del almidón contienen polímeros de glucosa de cadena larga y son insolubles en agua fría. A diferencia de moléculas pequeñas, los polímeros más largos de almidón no forman una verdadera solución, ya que al agitarlos en agua solo forman una suspensión temporal. Los gránulos al permanecer en agua sin elevar la temperatura se hinchan ligeramente a medida que absorben el agua; sin embargo, una vez elevada su temperatura el hinchamiento es irreversible. Esta característica de los gránulos de almidón permite que se utilice como espesante.

La procedencia de la fuente vegetal de la cual se obtiene el almidón le proporciona diferentes características, tanto en la morfología como en el tamaño. El tamaño de las partículas oscila entre 2 a 150 micras y la forma puede ser redonda o poligonal. En el caso de la partícula del almidón de maíz es, principalmente, esférica y con un tamaño aproximado de 10 micras.

Figura 1. **Morfología del almidón de maíz**



Fuente: MEDINA, Jorge. *Caracterización morfológica del gránulo de almidón nativo*. p. 59.

Los gránulos de almidón están constituidos en las capas externas por amilopectina y en las capas internas por amilosa, estas macromoléculas están formadas por una gran cantidad de moléculas de glucosa que se repiten. Para realizar bioplásticos derivados del almidón se debe contar con un porcentaje de amilosa superior a 70 %, para conseguir una fabricación óptima.

2.8.1. Plastificantes para el bioplástico

Al fabricar el bioplástico únicamente de almidón tendrá diferentes limitaciones, debido a que se formará un gel con el enfriamiento que será un sólido elástico. Por esto se necesita añadir diferentes plastificantes para añadirle propiedades mecánicas y distintas características físicas.

2.8.1.1. Glicerina

Es un alcohol con tres grupos hidroxilo que le permiten ser soluble en agua. Le proporciona al bioplástico un aspecto morfológico suave y uniforme. Reduce la resistencia a la tracción y mejora la capacidad elástica del bioplástico, si se añade en cantidades superiores al 25 %.

2.8.1.2. Urea

Posee un alto contenido de nitrógeno. Es soluble en agua y en alcohol; no presenta peligrosidad, no es tóxica ni inflamable. Añadida en grandes proporciones previene la retrogradación por más tiempo que otros plastificantes, aumentando la estabilidad del bioplástico elaborado.

2.9. Problemática ambiental

Los plásticos en su mayoría provienen del petróleo. Actualmente, el 4 % de la producción de petróleo se utiliza para sintetizar este polímero. Por su bajo precio de producción se obtienen grandes cantidades de plástico, y acompañado del uso excesivo por parte de los seres humanos, se genera una gran acumulación de residuos, ya que su degradación ocurre aproximadamente en 200 años.

2.10. Desarrollo sostenible

Los plásticos tradicionales son polímeros sintetizados a partir del petróleo, mientras los bioplásticos son polímeros elaborados a partir de materias primas renovables, como el almidón. La gran ventaja de los bioplásticos es que son menos contaminantes al producirlos, totalmente degradables y el abastecimiento de materia prima no se encuentra comprometido.

Los bioplásticos aportan al desarrollo sostenible; ya que las emisiones de dióxido de carbono del plástico derivado del petróleo se reducen entre 0,8 y 3,2 toneladas al producir bioplástico. Y las cantidades de residuos se disminuyen entre 25 al 50 % debido a la degradación acelerada de los bioplásticos.

En la actualidad, la producción es limitada y los precios del bioplástico no compiten con el derivado del petróleo, pero debido a los avances tecnológicos continuamente se generan bioplásticos con características más similares y mejor calidad, que puedan sustituir a los plásticos dañinos.

2.11. Degradabilidad

Es la capacidad de descomposición química o biológica de un material. La degradabilidad depende de la estructura química tanto de la materia prima como del producto final. Por ejemplo, algunos plásticos degradables se les añaden plásticos sintéticos durante su fabricación para mejorar sus propiedades.

2.12. Mecanismos de degradabilidad

La desintegración de un material biodegradable en el medio ambiente se puede dar por uno de los cuatro principales mecanismos de degradabilidad, los cuales se muestran a continuación.

2.12.1. Biodegradabilidad

Es la degradación causada por microorganismos como bacterias, hongos, levaduras y algas que producen enzimas, las cuales provocan cambios químicos en la estructura del material, convirtiéndolo en productos simples como agua y dióxido de carbono.

2.12.2. Compostabilidad

Es un proceso de oxidación biológica de la biodegradabilidad en el que se coloca el material en contenedores metálicos por un período de tiempo de doce semanas y una temperatura de 50 °C.

2.12.3. Erodabilidad

Se produce en el medio ambiente por disolución en agua o descomposición fotolítica, por los rayos ultra violeta provocados por la radiación solar en un período de tiempo determinado, medido por el porcentaje de masa perdido. En este mecanismo no intervienen microorganismos.

2.12.4. Hidrobiodegradación y fotobiodegradación

En este mecanismo el material se degrada en dos distintos pasos: primero, se da la erodabilidad, en el caso de la hidrobiodegradabilidad, una hidrolisis y en el caso de la fotobiodegradabilidad, una fotodegradación. En el segundo paso, se da una biodegradación.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Para la elaboración del bioplástico obtenido a partir de la mezcla de almidón, agua y dos plastificantes, se involucrarán variables de operación y de proceso; las cuales podrán ser constantes, variables, dependientes o independientes como se muestra en la tabla I.

3.1.1. Variables de operación

Las variables de operación se describen a continuación.

3.1.1.1. Tiempo de agitación

Se determinará al variar la temperatura del proceso, cuando la mezcla se haya gelatinizado por completo.

3.1.1.2. Presión

El procedimiento se realizará a la presión atmosférica de la ciudad de Guatemala.

3.1.2. Variables de proceso

Las variables de proceso son las siguientes.

3.1.2.1. Temperatura

La imbibición del almidón se realizará a tres temperaturas distintas: ochenta, noventa y cien grados Celsius, para que el almidón logre gelatinizar correctamente, pero que el biopolímero formado no sufra degradación.

3.1.2.2. Masa de reactivos

Las cantidades se trabajarán en porcentaje peso/peso de los componentes de la mezcla: almidón, agua y plastificantes.

3.1.2.3. Reactivos

Se utilizará almidón y agua desmineralizada. También dos tipos de plastificantes: glicerina y urea.

3.1.2.4. Tiempo de degradación

Para los ensayos de degradación se establecerá un tiempo de treinta días.

Tabla I. **Definición operacional de las variables**

Num	Variable	Dimensional	Constante	Variable	Dependiente	Independiente
1	Tiempo de agitación	min		X	X	
2	Temperatura	°C		X		X
3	Peso del almidón	g	X			X
4	Peso de los plastificante	g		X	X	
5	Peso del agua	g	X			X
6	Esfuerzo	Kg/cm ²		X	X	
7	Tiempo de degradación	día	X			X
8	Peso inicial del bioplástico	g		X	X	
9	Peso final del bioplástico	g		X	X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Se describe el campo, área, etapas y ubicación que forman parte de la investigación.

3.2.1. Campo de estudio

Esta investigación está delimitada al campo de la bioingeniería, formulación de bioplásticos, degradación, fisicoquímica, ciencia de los materiales, operaciones unitarias de transferencia de calor y tecnología de los alimentos.

3.2.2. Etapas que conforman la investigación

- Recolección de la materia prima con empresas proveedoras de reactivos.
- Elaboración de las muestras de bioplástico, por medio de agitación y calor.
- Evaluación de las características cualitativas de las muestras de bioplástico.
- Caracterización física de las propiedades de las muestras de bioplásticos.
- Elaboración de ensayos de degradabilidad.

3.2.3. Ubicación del desarrollo de la investigación

- Laboratorio de Análisis Físicoquímicos, Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, edificio T-5, primer nivel, Ciudad Universitaria zona 12, Guatemala.
- Centro Logístico, empresa de fertilizantes, Anillo Periférico, Guatemala.
- Sección de Metales y Productos Manufacturados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, edificio T-5, primer nivel, Ciudad Universitaria zona 12, Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Persona que realiza el estudio: Br. Ana Gabriela Gálvez Arévalo
- Asesora: Inga. Qca. Hilda Piedad Palma de Martini, colegiado: 453

3.4. Recursos materiales disponibles

Es el conjunto de materiales de trabajo y reactivos utilizados para el desarrollo de la investigación.

3.4.1. Equipo

El equipo utilizado en la investigación se describe a continuación:

- Balanza analítica
- Plancha de calentamiento
- Horno
- Termómetro
- Cronómetro

3.4.2. Cristalería

La cristalería utilizada en la investigación se describe a continuación:

- Probeta
- *Beacker*
- Vidrio de reloj
- Varilla de agitación
- Plancha de vidrio

3.4.3. Reactivos

Los reactivos utilizados en la investigación se describen a continuación:

- Agua desmineralizada para uso industrial
- Almidón de maíz
- Glicerina vegetal USP
- Urea grado reactivo

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

En la investigación se utilizarán técnicas cualitativas y cuantitativas.

3.5.1. Técnica cualitativa

Observación de las características cualitativas del bioplástico, como su tono de color, transparencia y textura.

3.5.2. Técnica cuantitativa

Se realizará la producción del bioplástico mediante un diseño de mezclas que se incluye el almidón, agua y plastificantes; en un *beacker* con agitación constante y calentamiento, dentro del Laboratorio del Centro Logístico de la empresa de fertilizantes.

Se producirá el bioplástico utilizando almidón, glicerina, urea y agua desmineralizada; variando la composición de la mezcla; realizando para cada una tres repeticiones. Se determinará el tiempo que tarda en formarse el

bioplástico al variar la temperatura del proceso, tomando tres temperaturas: ochenta, noventa y cien grados Celsius.

Luego de la elaboración de los bioplásticos se procederá a determinar las propiedades cualitativas de cada uno. Posteriormente, se determinarán las características físicas de los bioplásticos, realizando el ensayo de esfuerzo, en la Sección de Metales y Productos Manufacturados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

También se realizarán ensayos de degradabilidad de todos los bioplásticos elaborados, mediante la pérdida de masa, colocándolos a la intemperie y en medio acuoso, en un lapso de tiempo de treinta días.

Finalmente, se generarán y presentarán técnicamente los resultados, y por medio del análisis estadístico se establecerá si es repetible su fabricación y si presenta las cualidades apropiadas al variar la composición de la mezcla.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se describen los métodos por los cuales se realizará la recolección y ordenamiento de la información.

3.6.1. Preparación de los reactivos para las mezclas

Se prepararán mezclas con distinta proporción de los reactivos en porcentaje peso/peso, con el propósito de observar qué plastificante darán mejores características. Dichas proporciones se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Proporciones de los reactivos en las distintas mezclas**

Mezcla num.	Almidón (%)	Agua (%)	Glicerina (%)	Urea (%)
1	10,20	85,70	4,10	0,00
2	10,00	84,00	4,00	2,00

Fuente: elaboración propia.

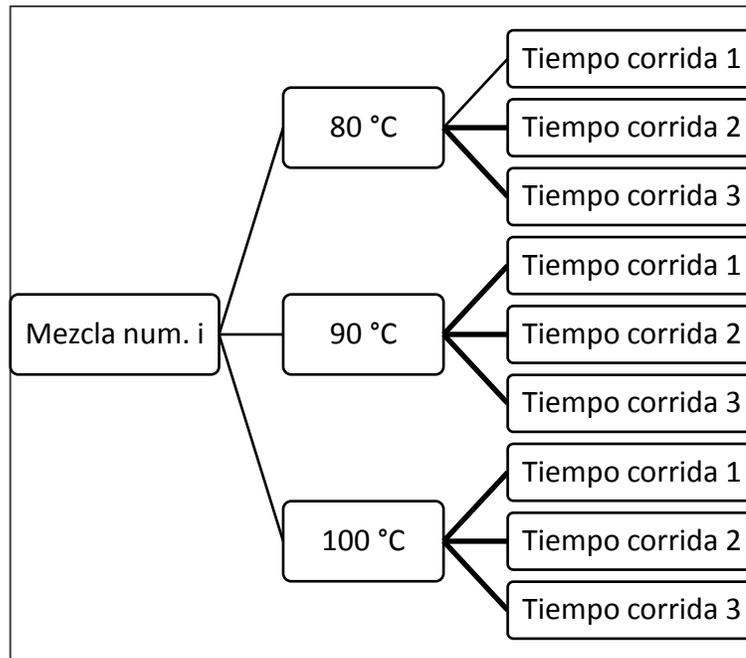
3.6.2. Procedimiento metodológico experimental

A continuación se describen los procesos para la obtención de las corridas de los distintos tratamientos.

3.6.2.1. Procedimiento para la elaboración del plástico biodegradable

- Preparar la mezcla 1 con la proporción indicada en la tabla II “Proporciones de los reactivos en las distintas mezclas”.
- Colocar los reactivos en un *beacker*.
- Agitar y elevar la temperatura hasta 80 °C.
- Tomar el tiempo que tarda en gelatinizar la mezcla.
- Sacar el bioplástico elaborado del *beacker* y distribuirlo de manera uniforme en la plancha de vidrio.
- Colocar la plancha de vidrio en el horno por 3 horas o hasta que seque por completo, a una temperatura de 60 °C.
- Remover el bioplástico del molde de vidrio.
- Realizar todos los pasos tres veces.
- Realizar todos los pasos variando la temperatura a 90 y 100 °C.
- Realizar todos los pasos con la mezcla 2.

Figura 2. **Recolección y ordenamiento de los datos según la temperatura**



Fuente: elaboración propia.

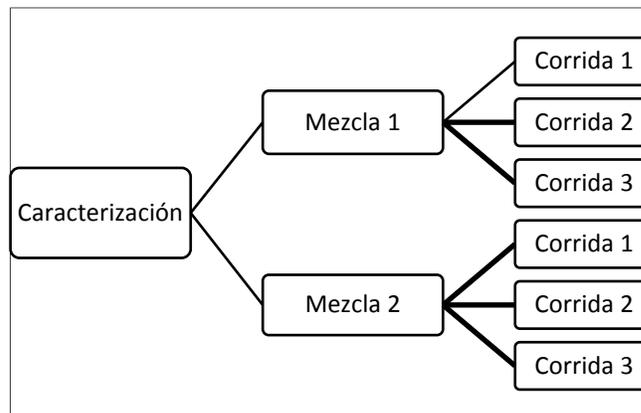
3.6.2.2. Caracterización cualitativa y física de los bioplásticos elaborados

- Tomar las corridas de las muestras que se realizaron en menor tiempo, de la mezcla 1.
- Observar el color, la transparencia y la textura.
- Anotar las características cualitativas.
- Realizar el ensayo de tensión.
- Anotar los resultados del ensayo físico.
- Realizar todos los pasos con la mezcla 2.

3.6.2.3. Ensayo de degradabilidad

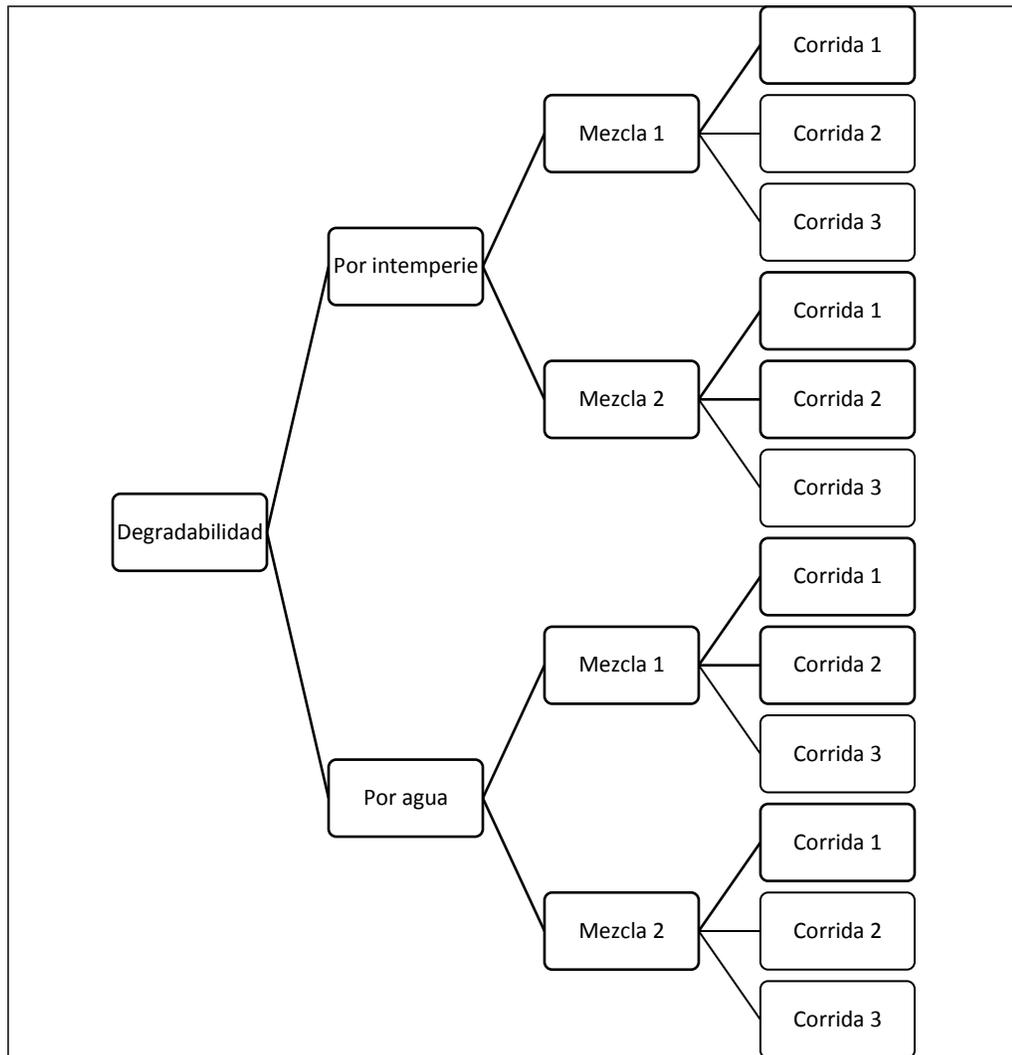
- Tomar las corridas de las muestras que se realizaron en menor tiempo, de la mezcla 1.
- Cortar en dos secciones cada una.
- Anotar el peso de cada sección.
- Colocar una sección en un recipiente y añadirle agua hasta que la cubra por completo.
- Tapar el recipiente perfectamente.
- Colocar la otra sección en un recipiente sin tapadera y colocarlo en un lugar al aire libre.
- Transcurridos treinta días, sacar las secciones y pesarlas.
- Repetir todos los pasos con la mezcla 2.

Figura 3. **Recolección y ordenamiento de los datos según la caracterización cualitativa y física**



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Recolección y ordenamiento de los datos según la degradabilidad**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se tomarán datos numéricos y cualitativos de los distintos bioplásticos formados a partir de la mezcla de almidón, agua y dos plastificantes en distintas proporciones, variando su temperatura y analizando su degradabilidad por pérdida de masa en treinta días; realizando tres corridas para cada ensayo.

3.7.1. Tabulación de los datos por número de mezclas

Las tablas III, IV, V, VI, VII y VIII se utilizarán para la tabulación de los datos obtenidos.

Tabla III. **Tiempo de formación del bioplástico para la mezcla 1**

Mezcla	Temperatura (°C)	Corrida	Tiempo (min)
1	80	1	
		2	
		3	
	90	1	
		2	
		3	
	100	1	
		2	
		3	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Tiempo de formación del bioplástico para la mezcla 1**

Mezcla	Temperatura (°C)	Corrida	Tiempo (min)
2	80	1	
		2	
		3	
	90	1	
		2	
		3	
	100	1	
		2	
		3	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Caracterización cualitativa del bioplástico**

Mezcla	Corrida	Color	Transparencia	Textura
1	1			
	2			
	3			
2	1			
	2			
	3			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Caracterización física del bioplástico**

Mezcla	Corrida	Dureza
1	1	
	2	
	3	
2	1	
	2	
	3	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Ensayo de degradabilidad del bioplástico de la mezcla 1**

Corrida	Por intemperie		Por agua	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
1				
2				
3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Ensayo de degradabilidad del bioplástico de la mezcla 2**

Corrida	Por intemperie		Por agua	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
1				
2				
3				

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizarán las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión, para sintetizar y observar la variabilidad que exhiben los datos obtenidos, permitiendo juzgar la confiabilidad de los resultados que se presentarán y si los valores centrales son representativos.

Para determinar la hipótesis que se cumple se utilizará la diferencia de medias, por medio de la tabla de Andeva.

3.8.1. Medidas de tendencia central

Para las medidas de tendencia central se determinará la media aritmética que resumirá los datos obtenidos de las corridas e indicará el valor central de cada muestra.

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

3.8.2. Medidas de dispersión

Para las medidas de dispersión se determinarán la desviación estándar y la varianza. La desviación estándar será la que indique sobre la media de distancias que tienen los datos respecto a la media aritmética. La varianza será la media del cuadrado de las desviaciones respecto a la media aritmética, estableciendo la variabilidad de los resultados.

- Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

- Varianza

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

3.8.3. Diferencia de medias

Se realizará el análisis de varianza por medio de las pruebas de hipótesis para diferencia de medias. En donde se asume que las varianzas son iguales de las k poblaciones. Se utiliza la tabla de Andeva.

Tabla IX. **Tabla de Andeva**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F(prueba)	Fcrítica
Tratamientos	SST	k-1	MST	MST/MSE	F (α,k-1,n-1)
Error	SSE	n-k	MSE		
Total	SStotal	n-1			

Fuente: WALPOLE, Ronald E. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 493.

- Diferencia entre tratamientos

$$SST = \sum_{i=1}^k \frac{x_i^2}{n_i} - CM \quad \text{[Ecuación 4]}$$

- Corrección de la media

$$CM = \frac{1}{n} (\sum_i \sum_j x_{ij})^2 \quad \text{[Ecuación 5]}$$

- Varianza total

$$SStotal = \left(\sum_{i=1}^k \frac{x_i^2}{n_i} \right) - CM \quad \text{[Ecuación 6]}$$

- Diferencia dentro de cada tratamiento

$$SSE = SStotal - SST \quad \text{[Ecuación 7]}$$

- Corrección de la media de tratamientos

$$MST = \frac{SST}{k-1} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

- Corrección de la media de los errores

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

3.9. Plan de análisis de los resultados

Los resultados se analizarán con distintos métodos y programas, para llegar a conclusiones objetivas.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Los datos obtenidos se analizarán de forma matemática, estadística, gráfica y cualitativa; para determinar objetivamente si el almidón es una materia prima adecuada y generar un bioplástico con características adecuadas y de rápida degradación.

3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos

A continuación se encuentran los programas que se utilizarán.

3.9.2.1. Microsoft Office Excel 2010

Por medio de este programa se determinan las características de los bioplásticos formados a partir de las distintas mezclas. También se utilizará para realizar las gráficas que permitan observar el tiempo que tarda en formarse el bioplásticos en función de la temperatura.

3.9.2.2. Microsoft Office Word 2010

Por medio de este programa se editará y presentará el informe que contendrá los resultados de la investigación.

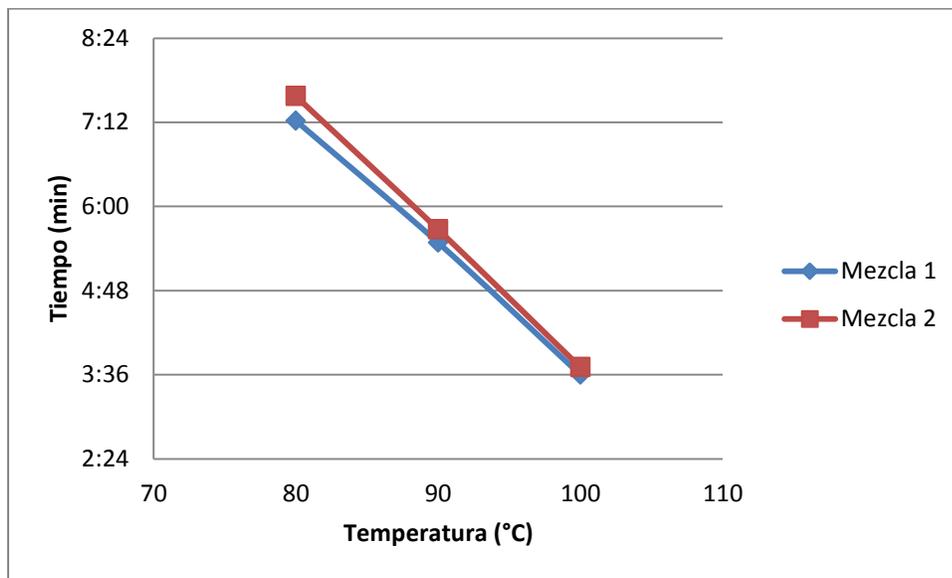
3.9.2.3. InfoStat

Por medio de este programa se realizará el análisis estadístico para poder determinar qué hipótesis se acepta.

4. RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron de la investigación se muestran en la figura 5 y en las tablas X, XI, XII y XIII.

Figura 5. **Tiempo para la formación de los bioplásticos variando la temperatura**



Fuente: elaboración propia, con base en los datos calculados del apéndice 1.

Tabla X. **Descripción de la figura 5**

Color	Modelo matemático	R ²	Intervalo de validez
	$y = -0,0075x + 0,9056$	0,9995	[80-100] °C
	$y = -0,0081x + 0,9604$	0,9999	[80-100] °C

Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 5.

Tabla XI. **Caracterización cualitativa de los bioplásticos**

Mezcla	Color	Transparencia	Textura
1	Amarillo	Sí, levemente	Lisa
2	Amarillo	Sí, levemente	Lisa

Fuente: elaboración propia, con base en los datos calculados del apéndice 1.

Tabla XII. **Caracterización física de los bioplásticos**

Mezcla	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
1	11,36
2	2,89

Fuente: elaboración propia, con base en los datos calculados del apéndice 1.

Tabla XIII. **Degradación de los bioplásticos por intemperie y por agua en un lapso de treinta días**

Mezcla	Porcentaje de masa perdida por intemperie (%)	Porcentaje de masa perdida por agua (%)
1	5,14	39,92
2	2,27	21,88

Fuente: elaboración propia, con base en los datos calculados del apéndice 1.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la actualidad se busca hacer plásticos biodegradables que puedan sustituir a los sintéticos; como los bioplásticos hechos a partir de almidón de maíz.

Para realizar el bioplástico se utilizó almidón de maíz, materia prima principal, que permite sufrir modificaciones físicas y químicas para generar un sustituto de polímeros sintéticos. El almidón por sí solo no generará el termoplástico deseado, por lo tanto, fue necesario añadirle agua, que cumple con dos funciones: ser el principal plastificante y es un agente que rompe la estructura del gránulo.

Para que tome las características de un polímero fue necesario añadirle plastificantes adicionales, en esta investigación se añadió glicerina y urea, para observar los cambios en las características físicas y la degradabilidad que sufren; dichos plastificantes deben ser hidrofílicos para realizar mezclas con todas las materias primas.

Se establecieron dos mezclas con el almidón y los distintos plastificantes, las proporciones variaban entre 10 % almidón y 90 % plastificantes. Para lograr analizar las propiedades mecánicas que proporciona la glicerina, la mezcla 1 no contaba con urea; mientras que, para analizar la degradación y el tiempo de vida útil del termoplástico a la mezcla 2 se le añadió 2 % de urea.

Para obtener el bioplástico se calentaron los gránulos de almidón de maíz con los plastificantes en un medio con agitación lenta y constante, para promover la imbibición, hinchazón y posterior la formación del polímero. Esto se debe a que, al combinar la fricción mecánica y la elevación de temperatura, se homogeniza la mezcla, gelatinizando y plastificando el almidón para desnaturalizar los materiales proteicos y lograr la reestructuración de ellos, dando como resultado un material termoplástico en forma de pasta con exceso de humedad. Para adquirir la textura y la forma de un bioplástico fue necesario colocarlo en un horno a una temperatura de 60 °C por tres horas, removiendo así el exceso de agua y logrando las características adecuadas.

Para determinar el tiempo que se demoró en formar el material termoplástico con aspecto de pasta, posteriormente se adapta a las cualidades de un bioplástico, se realizaron tres corridas con cada mezcla y se varió la temperatura en ochenta, noventa y cien grados Celsius, dichos valores se encuentran dentro del rango de temperatura donde el almidón en presencia de plastificantes se funde y fluidifica, sin descomponer la estructura de cada compuesto, principalmente evitando la desnaturalización del almidón.

Al aumentar la temperatura de la mezcla se logra alcanzar la pérdida de cristalización de los gránulos de almidón de manera más rápida, permitiendo que la amilosa y la amilopectina reaccionen con los plastificantes, en la figura 5 se observa que al aumentar la temperatura 10 °C entre tratamientos, el tiempo de formación disminuye aproximadamente dos minutos, por lo tanto, la velocidad de plastificación del almidón disminuyó de manera inversamente proporcional a la temperatura.

La tendencia mencionada es aplicable para ambos tratamientos, sin embargo, la mezcla 2, que contaba con urea, tardó aproximadamente quince segundos más en formarse que la mezcla 1, debido a que al añadir urea a la composición se incrementa la viscosidad haciendo que sea más difícil la interacción entre los componentes, y como uno de los usos de la urea es retardar la degradación, en esta parte del proceso de formación funciona como un plastificante que protege contra la temperatura.

Las propiedades cualitativas, como el color y la transparencia de los bioplásticos dependen de la cantidad de amilosa que tenga el almidón que se utiliza y el hinchamiento que se produzca. En esta investigación, al usar como materia prima el almidón de maíz se tiene 70 % de amilosa. Las moléculas durante el proceso se hinchan por la penetración de agua en la estructura, fragmentándose en amilopectina y amilosa, disminuyendo la cristalinidad por la movilidad térmica de las moléculas, haciendo que el bioplástico tenga una ligera transparencia.

Cuando se forma la pasta en la etapa de calentamiento se torna de un color blanco, debido al exceso de humedad e indicando que la desnaturalización del almidón está iniciando; al pasar a la etapa de secado, adopta un color amarillo y una ligera transparencia, removiendo el exceso de agua permite que la mezcla no se adhiera a cualquier superficie y genera la textura lisa característica de un plástico. Para ambas mezclas se adoptaron dichas características como lo muestra la tabla XI.

En el caso de la caracterización física se realizaron ensayos de esfuerzo, observando la carga que puede soportar cada muestra antes de que se rompa por completo. La tabla XII muestra que el tratamiento que no tiene urea logró un esfuerzo mayor, $11,36 \text{ kg/cm}^2$, mientras que la que tenía urea, solo logró un

esfuerzo de $2,89 \text{ kg/cm}^2$. Esto se debe a que al añadirle urea a la mezcla, interfiere entre los enlaces del almidón con el agua y la glicerina, disminuyendo los puentes de hidrógeno, haciendo que el bioplástico únicamente soporte cargas por debajo de 1,5 Kg, y que su tendencia a la ruptura sea mayor, por lo tanto, este tratamiento no se puede utilizar como sustituto del plástico por sus pobres características físicas.

Al comparar ambos datos de esfuerzo, con un nivel de significancia de 5 por ciento, se comprueba la hipótesis alterna que dice que existen diferencias significativas entre las medias de esfuerzo de los plásticos biodegradables elaborados con distinta proporción de los componentes de la mezcla (almidón, agua, glicerina, urea), y por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. La adición de distintos plastificantes modifica las propiedades físicas finales, es este caso al añadir urea, el bioplástico que se formó tuvo valores de esfuerzo tres veces menor, haciendo que esta mezcla tenga pobres características físicas y que no se pueda comparar con la mezcla que no tiene urea.

El almidón es altamente degradable debido a sus enlaces glucosídicos; la principal enzima implicada en la degradación del almidón es la amilasa que hidroliza dichos enlaces glucosídicos produciendo liberación de sacarosa. Para determinar el tiempo de degradación se colocaron las muestras en dos medios, agua e intemperie, en la tabla XIII se observa que al estar en contacto con agua existe mayor pérdida de masa, superior al 20 %, mientras que al estar a la intemperie, siendo su único contacto el aire, solo se logra alcanzar una pérdida de masa de 5 %, esto se debe a que las propiedades del bioplástico dependen de la humedad en el ambiente, al estar en contacto con agua directamente y por completo, la estructura formada tiende a dejar la amilosa libre, permitiendo que la hidrólisis enzimática se dé rápidamente; mientras que al estar en

contacto únicamente con el aire, se promueve un acceso difícil a la amilosa para la degradación.

La adición de los plastificantes modifica las características de degradación del bioplástico. La urea es particularmente útil para retardar el propósito de degradación, debido a la interrupción que genera entre los enlaces para dar lugar a una menor exposición del ataque enzimático por parte de la amilosa y la amilopeptina. En la tabla XIII, también se puede observar que al añadirle 2 % de urea a la composición de la mezcla 2, en cualquiera de los dos medios a los que se expuso, la pérdida de masa disminuyó la mitad del porcentaje que la mezcla 1, obteniendo que al añadir urea el comportamiento del bioplástico será de degradarse en más tiempo, porque los enlaces glucosídicos no estarán expuestos a un rompimiento rápido.

Una de las características de los bioplásticos es su rápida degradación y por medio del ensayo de degradabilidad se pudo confirmar que el bioplástico formado sí la posee, ya que en un lapso de treinta días se logró disminuir 39,92 por ciento la masa de los bioplásticos (tabla XIII). Obteniendo que el bioplástico formado puede competir con los plásticos formados a partir de petróleo, porque es amigable con el medio ambiente y cuenta con características, tanto físicas como cualitativas apropiadas.

Para obtener los resultados de esta investigación se realizaron tres corridas para cada tratamiento, obteniendo que la desviación estándar no fue mayor a 1,87, indicando que los valores obtenidos no se alejan del promedio reportado.

CONCLUSIONES

1. Se elaboró un bioplástico añadiendo 10 % de almidón y 90 % de plastificantes (agua, glicerina y urea).
2. El tiempo de formación de la pasta del bioplástico es inversamente proporcional a la temperatura, la cual no debe sobrepasar los cien grados Celsius.
3. Los bioplásticos elaborados poseen color amarillo, transparencia leve y textura lisa, independientemente de la composición de la mezcla observada.
4. Los bioplásticos elaborados sin urea logran alcanzar un esfuerzo de 11,36 Kg/cm², mientras que los formados con urea tienen un esfuerzo menor de 2,89 Kg/cm².
5. Las diferencias de las medias de los esfuerzos obtenidos de ambas mezclas, son significativas según la prueba de Fisher. Al añadir urea se genera un bioplástico con esfuerzo totalmente distinto.
6. La pérdida de masa del bioplástico al estar en contacto con agua es mayor que al estar en contacto únicamente con el aire, independientemente de la composición.

7. Al añadir urea a la mezcla se alarga la vida útil del bioplástico, disminuyendo su pérdida de masa a la mitad del porcentaje que la mezcla que no contiene urea.

RECOMENDACIONES

1. Variar las condiciones de proceso en la fase final para evitar la formación de burbujas en la pasta del bioplástico, como la agitación y el tiempo de calentamiento posterior a la formación.
2. Disminuir la cantidad de urea en la mezcla para observar si el bioplástico formado continúa con su tiempo de vida alto, pero aumentando su esfuerzo para ampliar sus aplicaciones.
3. Determinar si es más rápido el método de biodegradabilidad para la pérdida de masa de los bioplásticos, que el método de hidrodegradación.
4. Utilizar otro tipo de almidón para elaborar el bioplástico.
5. Utilizar otros plastificantes que proporcionen distintas características, tanto cualitativas como físicas.
6. Realizar el ensayo de degradabilidad en un período de noventa días.

BIBLIOGRAFÍA

1. BILLMEYER, Fred. *Ciencia de los polímeros*. España: Reverté, 2004. 581 p.
2. BROWN, Roger. *Polymer Testing*. Brasil: ELSEVIER, 2008. 9 p.
3. CAREY, Francis. *Química orgánica*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2006. 1108 p.
4. Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. *Reporte nacional de manejo de residuos en Guatemala*. Guatemala: PROARCA, 2004. 33 p.
5. FUENTES LÓPEZ, Mario Roberto. *Maíz de Guatemala*. Guatemala: PESA, 2005. 142 p.
6. IGUARDIA ARRIVILLAGA, Carlos Humberto. *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa sapientum variedad Cavendish)*. Trabajo de graduación de Químico Farmacéutico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2013. 115 p.
7. MCGILVERY, Robert. *Conceptos bioquímicos*. España: Reverté, 1986. 597 p.

8. McMURRY, John. *Química orgánica*. 6a ed. México: Thomson Learning, 2004. 1284 p.
9. MERÉ MARCOS, Javier. *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad Carlos III de Madrid, Facultad de Ingeniería, 2009. 176 p.
10. PRECOP. *Bioplásticos: nuevos usos para el maíz*. [en línea] <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/Bioplasticos.asp>. [Consulta: 16 de octubre de 2014].
11. WALPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6ta ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. 752 p.
12. ZEAPLAST. *Productos biodegradables*. [en línea] <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/historia-de-los-bioplasticos+-20>. [Consulta: 16 de octubre de 2014].

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos calculados

Promedio del tiempo para realizar el bioplástico

Corrida 1

Tomando los valores de la mezcla 1 a 80 °C.

$$x_1 = 6:58 \text{ min}$$

$$x_2 = 7:31 \text{ min}$$

$$x_3 = 7:11 \text{ min}$$

$$n = 3$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{6:58 \text{ min} + 7:31 \text{ min} + 7:11 \text{ min}}{3}$$
$$\bar{x} = 7:13 \text{ min}$$

Desviación estándar y varianza del tiempo para realizar el bioplástico

Corrida 1

Tomando los valores de la mezcla 1 a 80 °C.

$$x_1 = 6:58 \text{ min}$$

$$x_2 = 7:31 \text{ min}$$

$$x_3 = 7:11 \text{ min}$$

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 7:13 \text{ min}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(6:58\text{min} - 7:13\text{min})^2 + (7:31\text{min} - 7:13\text{min})^2 + (7:11\text{min} - 7:13\text{min})^2}{3}}$$

$$S = 0,009 \text{ min}$$

$$S^2 = (0,009 \text{ min})^2$$

$$S^2 = 8,88E - 05 \text{ min}^2$$

Tiempo para realizar el bioplástico con la mezcla 1 al variar la temperatura

Corrida	Tiempo (min)		
	80 °C	90 °C	100 °C
1	06:58	05:24	03:27
2	07:31	05:57	03:37
3	07:11	05:06	03:44
Promedio	07:13	05:29	03:36
Desviación estándar	0,009	0,015	0,005
Varianza	8,88E-05	2,15E-04	2,35E-05

Tiempo para realizar el bioplástico con la mezcla 2 al variar la temperatura

Corrida	Tiempo (min)		
	80 °C	90 °C	100 °C
1	07:51	05:20	03:41
2	07:03	05:53	03:32
3	07:49	05:48	03:54
Promedio	07:34	05:40	03:42
Desviación estándar	0,015	0,010	0,006
Varianza	2,37E-04	1,02E-04	3,93E-05

Caracterización cualitativa del bioplástico elaborado con ambas mezclas

Mezcla	Corrida	Color	Transparencia	Textura
1	1	Amarillo	Sí, levemente	Lisa
	2	Amarillo	Sí, levemente	Lisa
	3	Amarillo	Sí, levemente	Lisa
2	1	Amarillo	Sí, levemente	Lisa
	2	Amarillo	Sí, levemente	Lisa
	3	Amarillo	Sí, levemente	Lisa

Área del bioplástico

Corrida 1

Tomando los valores de la mezcla 1 y la corrida 1.

$$a = 5,079 \text{ cm}$$

$$e = 0,096 \text{ cm}$$

$$A = a \times e$$

$$A = 5,079 \text{ cm} \times 0,096 \text{ cm}$$

$$A = 0,489 \text{ cm}^2$$

Esfuerzo del bioplástico

Corrida 1

Tomando los valores de la mezcla 1 y la corrida 1.

$$A = 0,489 \text{ cm}^2$$

$$c = 5,13 \text{ kg}$$

$$E = \frac{c}{A}$$

$$E = \frac{5,13 \text{ kg}}{0,489 \text{ cm}^2}$$

$$E = 10,486 \text{ kg/cm}^2$$

Caracterización física del bioplástico elaborado con la mezcla 1

Corrida	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	5,079	0,096	0,489	5,130	10,486
2	5,079	0,055	0,278	5,601	9,369
3	5,079	0,057	0,291	4,138	14,212
Promedio	5,079	0,069	0,353	4,956	11,356
Desviación estándar	0,000	0,019	0,097	0,610	2,071
Varianza	0,000	0,000	0,009	0,372	4,287

Caracterización física del bioplástico elaborado con la mezcla 2

Corrida	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	5,079	0,087	0,444	0,928	2,092
2	5,079	0,068	0,344	1,252	3,643
3	5,079	0,091	0,464	1,364	2,941
Promedio	5,079	0,082	0,417	1,181	2,892
Desviación estándar	0,000	0,010	0,052	0,185	0,634
Varianza	0,000	0,000	0,003	0,034	0,402

Pérdida de masa del bioplástico

Corrida 1

Tomando los valores de la mezcla 1 y la corrida 1 por intemperie.

$$m_o = 15,20 \text{ g}$$

$$m_f = 14,70 \text{ g}$$

$$m_p = m_o - m_f$$

$$m_p = 15,20 \text{ g} - 14,70 \text{ g}$$

$$m_p = 0,50 \text{ g}$$

$$m_p = \frac{0,50 \text{ g}}{15,20 \text{ g}} \times 100 = 3,29 \%$$

Masas del bioplástico elaborado con la mezcla 1, ensayo de degradabilidad de treinta días

Corrida	Por intemperie		Por agua	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
1	15,20	14,70	26,62	16,07
2	15,44	14,38	28,84	16,64
3	15,41	14,60	26,07	16,21

Pérdida de masa del bioplástico elaborado con la mezcla 1, ensayo de degradabilidad de treinta días

Corrida	Por intemperie		Por agua	
	Masa perdida (g)	Masa perdida (%)	Masa perdida (g)	Masa perdida (%)
1	0,50	3,29	10,55	39,63
2	1,06	6,87	12,20	42,30
3	0,81	5,26	9,86	37,82
Promedio	0,79	5,14	10,87	39,92
Desviación estándar	0,23	1,46	0,98	1,84
Varianza	0,05	2,14	0,96	3,39

Masas del bioplástico elaborado con la mezcla 2, ensayo de degradabilidad de treinta días

Corrida	Por intemperie		Por agua	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
1	19,97	17,86	32,79	25,54
2	19,04	18,67	35,81	27,20
3	16,47	15,77	34,39	27,69

Pérdida de masa del bioplástico elaborado con la mezcla 2, ensayo de degradabilidad de treinta días

Corrida	Por intemperie		Por agua	
	Masa perdida (g)	Masa perdida (%)	Masa perdida (g)	Masa perdida (%)
1	0,11	0,61	7,25	22,11
2	0,37	1,94	8,61	24,04
3	0,70	4,25	6,70	19,48
Promedio	0,39	2,70	7,52	21,88
Desviación estándar	0,24	1,50	0,80	1,87
Varianza	0,06	2,26	0,64	3,49

Figura A. Análisis estadístico

```

Análisis de la varianza

Variable N  R²  R² Aj  CV
esfuerzo  6  0.88  0.86  26.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)
  F.V.      SC  gl  CM  F  p-valor
-----
Modelo.    107.45  1  107.45  30.55  0.0052
tratamiento 107.45  1  107.45  30.55  0.0052
Error      14.07  4   3.52
Total     121.52  5

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.25141
Error: 3.5171 gl: 4
tratamiento Medias n  E.E.
-----
1          11.36  3  1.08  A
2           2.89  3  1.08  B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

```

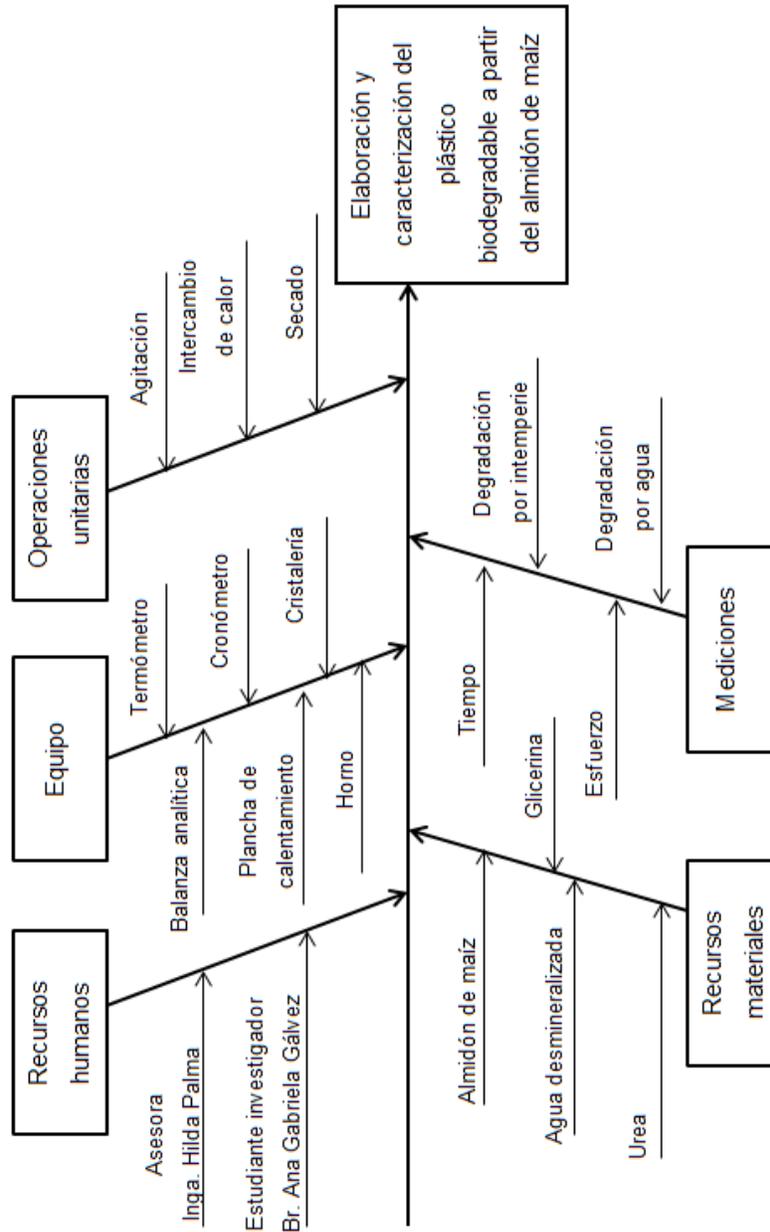
Fuente: elaboración propia, empleando programa InfoStat.

Apéndice 2. Requisitos académicos

Carrera	Área	Curso	Tema
Ingeniería Química	Área de Química	Química 4	Pérdida de masa en porcentaje
		Química Orgánica 2	Polímeros
		Química Ambiental	Degradación en el medio ambiente
	Área de Físicoquímica	Laboratorio de Físicoquímica 1	Caracterización físicoquímico
	Área de Operaciones Unitarias	Balace de Masa y Energía	Balances de masa y proporciones
		Transferencia de Calor	Transferencia de masa
	Área de Especialización	Ciencia de los Materiales	Propiedades mecánicas
		Tecnología de los Alimentos	El almidón y sus propiedades
		Bioingeniería	Biotecnología
		Procesos Químicos Industriales	Elaboración y propiedades de los polímeros
	Área de Ciencias Básicas y Complementarias	Estadística 1	Estadística descriptiva

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de causa y efecto Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Formación de la pasta del bioplástico**



Fuente: Centro Logístico, Anillo Periférico zona 11, Guatemala.

Apéndice 5. **Bioplástico elaborado**



Fuente: Centro Logístico, Anillo Periférico zona 11, Guatemala.

Apéndice 6. **Ensayo de esfuerzo**



Fuente: Sección de metales, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Apéndice 7. **Inicio ensayo de degradabilidad**



Fuente: Centro Logístico, Anillo Periférico zona 11, Guatemala.

Apéndice 8. **Finalización de ensayo de degradabilidad**



Fuente: Centro Logístico, Anillo Periférico zona 11, Guatemala.

Apéndice 9. Resultados de ensayo de esfuerzo



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 22593

O.T. No.35400

INFORME No.506-M

INTERESADO: ANA GABRIELA GALVEZ AREVALO CARNE No. 201114061
 PROYECTO: TESIS "ELABORACION DE PLASTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDON EXTRAIDO DEL MAIZ (ZEA MAYS)".
 FECHA: GUATEMALA, 27 DE OCTUBRE DE 2015.

Antecedentes

La estudiante **ANA GABRIELA GALVEZ AREVALO** de la carrera de Ingeniería Química solicita a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de tensión a 06 hojas de plástico biodegradable. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "**ELABORACION DE PLASTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDON EXTRAIDO DEL MAIZ (ZEA MAYS)**".

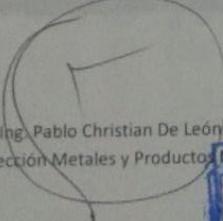
Resultados

Datos calculados

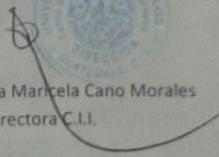
No.	ancho	espesor	área	carga	Esfuerzo		
	cm	cm	cm ²	Kg	T (Kg/cm ²)	Mpa	PSI
1	5.079	0.096	0.489	5.130	10.486	1.028	149.562
2	5.079	0.055	0.278	2.601	9.369	0.919	133.629
3	5.079	0.057	0.291	4.138	14.212	1.394	202.705
4	5.079	0.087	0.444	0.928	2.092	0.205	29.758
5	5.079	0.068	0.344	1.252	3.643	0.357	51.965
6	5.079	0.091	0.464	1.364	2.941	0.288	41.944

Atentamente,

M.Sc. Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
 Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados
 /cbr




Vo.Bo. Ing. Telma Maricela Cano Morales
 Directora C.I.I.




FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Telefono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.