



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

**ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ;
EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN
POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN**

Edgar Leonel Mollinedo Paiz

Asesorado por la Ing. Adela María Marroquín González

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ;
EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN
POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR LEONEL MOLLINEDO PAIZ

ASESORADO POR LA INGA. ADELA MARÍA MARROQUÍN GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

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	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

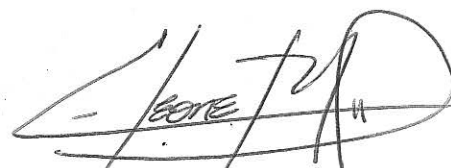
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 DE ALMIDÓN DE MAÍZ;
EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN
POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de enero de 2016.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edgar Leonel Mollinedo Paiz', written over a horizontal line.

Edgar Leonel Mollinedo Paiz



Guatemala, 24 de julio del 2017

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

Respetable Ingeniero Wong Davi

Esperando que tenga éxitos en sus actividades laborales, por este medio hago de su conocimiento que, en mi calidad de asesora del trabajo de graduación del estudiante **EDGAR LEONEL MOLLINEDO PAIZ**, quien se identifica con registro académico 2011 14134 y número de carné 2158 41263 0101, he revisado el Informe Final de Trabajo de Graduación, titulado:

ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ; EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN

Por lo que considero que el presente informe cumple con los requisitos necesarios para ser presentado ante las autoridades de la Escuela de Ingeniería Química y lo doy **por aprobado**. Dejo a su consideración que el estudiante **MOLLINEDO PAIZ** continúe con los trámites pertinentes para la defensa y aprobación del mismo ante la terna evaluadora y su persona.

Sin otro particular me despido de usted,

Atentamente,


Inga. Qca. Adela María Marroquín González
Asesora de Trabajo de Graduación

Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446



Guatemala, 24 de agosto de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.036.2017.

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 **110-2015** 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 el estudiante universitario: **Edgar Leonel Mollinedo Paiz**.
Identificado con número de carné: **2011-14134**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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 DE ALMIDÓN DE MAÍZ; EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Adela María Marroquín González**.

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"


Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.050.2017

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, **EDGAR LEONEL MOLLINEDO PAIZ** titulado: **"ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ; EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN"**. 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, octubre 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.458-2017

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 DE ALMIDÓN DE MAÍZ; EVALUANDO SU DEGRADABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y SU EXPANSIÓN POLIMÉRICA AL VARIAR LA FORMULACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Leonel Mollinedo Paiz**, 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, octubre de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la Virgen María

Por permitirme culminar una meta más en la vida, hacerme coincidir con personas maravillosas y día tras día llenarme de bendiciones.

Mi abuelita

Por ser durante toda mi vida, el motivo de superación y anhelo para lograr mis metas. Por enseñarme que el amor no tiene límites y trasciende a la persona física.

Mis padres

Edgar Mollinedo y Cristina Paiz. Por ser mis ejemplos de lucha y perseverancia, por su amor y apoyo incondicional, por aguantarme, aconsejarme y darme las herramientas necesarias para realizarme. Los amo.

Mis hermanos

Manuel y Cristina Mollinedo Paiz. Por ser amigos y cómplices de vida, por ser pilares y partícipes de mis logros. Los amo.

Mis amigos

Por compartir tantas alegrías, tristezas, desvelos, frustraciones y éxitos; por las experiencias vividas a lo largo de este caminar y apoyarnos cuando más lo necesitamos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la institución que me acogió a lo largo de mis estudios superiores, por formarme profesionalmente y enseñarme lecciones de vida.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarnos académicamente, y buscar la excelencia de quienes pasamos por sus salones.

**Área de Fisicoquímica y
EIQ**

Por darme la oportunidad de desarrollarme académica y laboralmente y coincidir con excelentes personas.

Mis amigos

Por incentivarme a seguir adelante, demostrarme que para la amistad no importa tiempo ni distancia, por estar presentes en muchas etapas de mi vida.

Familia

Nuclear y extendida. Abuelos, tíos, primos. A la familia López Delgado por su apoyo y atenciones.

Inga. Adela Marroquín

Por su apoyo y disponibilidad para asesorarme en este trabajo de investigación.

Ing. William Fagiani

Por su colaboración y apoyo en la elaboración de este trabajo de investigación.

Inga. Ana Herrera

Por su ayuda y recomendaciones al realizar este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	3
1.3. Determinación del problema.....	4
1.3.1. Definición	4
1.3.2. Delimitación	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Polímeros y plásticos.....	5
2.2. Polímeros	5
2.2.1. Polímeros naturales	6
2.2.2. Polímeros semisintéticos	6
2.2.3. Polímeros sintéticos.....	6
2.3. Propiedades físicas de los polímeros	6
2.3.1. Elastómeros.....	6
2.3.2. Fibras.....	7
2.3.3. Plásticos	7

	2.3.3.1.	Termoplásticos.....	7
	2.3.3.2.	Termoestables	7
2.4.		Plásticos biodegradables	8
	2.4.1.	Criterios de biodegradabilidad.....	8
	2.4.1.1.	Propiedades mecánicas	8
	2.4.1.2.	Velocidad de degradación.....	9
	2.4.2.	Mecanismos de degradación.....	9
	2.4.2.1.	Fotodegradación	9
	2.4.2.2.	Degradación mecánica	9
	2.4.2.3.	Degradación térmica	9
	2.4.2.4.	Degradación química	10
	2.4.2.5.	Degradación por microorganismos.....	10
	2.4.3.	Aplicación	10
2.5.		Plásticos a base de almidón.....	11
	2.5.1.	Fécula y almidón	11
	2.5.2.	El almidón.....	11
	2.5.3.	Propiedades del almidón	13
	2.5.3.1.	Gelatinización.....	13
	2.5.3.2.	Características	14
	2.5.3.3.	Retrogradación.....	15
	2.5.3.4.	Retrogradación rápida.....	16
	2.5.3.5.	Retrogradación lenta.....	16
	2.5.3.6.	Transición vítrea.....	17
	2.5.3.7.	Desestructuración	17
2.6.		Ventajas de los polímeros biodegradables.....	18
3.		MARCO METODOLÓGICO	19
3.1.		Variables del método	19

3.1.1.	Variables físicas.....	19
3.1.2.	Variables del primer procedimiento experimental	19
3.1.3.	Variables del segundo procedimiento experimental	20
3.1.4.	Variables del tercer procedimiento experimental	21
3.2.	Delimitación del campo de estudio	22
3.2.1.	Etapas de la investigación	22
3.2.2.	Ubicación del desarrollo de la investigación	22
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	23
3.4.	Recursos materiales disponibles	23
3.4.1.	Equipo	23
3.4.2.	Cristalería	23
3.4.3.	Reactivos.....	24
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	24
3.6.1.	Metodología experimental variando la proporción de almidón de maíz.....	24
3.6.2.	Metodología experimental variando la proporción de ácido acético	25
3.6.3.	Metodología experimental variando la proporción de glicerina	26
3.6.4.	Metodología experimental para la evaluación de la expansión polimérica a partir de la densidad del plástico biodegradable	27

3.6.5.	Metodología experimental para la evaluación de la degradabilidad del plástico con ácido sulfúrico.....	27
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	28
3.8.	Análisis estadístico.....	29
3.9.	Plan de análisis de los resultados	32
3.9.1.	Programas para el análisis de datos	32
4.	RESULTADOS.....	33
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
	CONCLUSIONES.....	45
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	APÉNDICES.....	51
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura de molécula de amilosa	12
2.	Segmento de una molécula de amilopectina.....	12
3.	Almidón no gelatinizado observado con luz polarizada.....	13
4.	Formación de sol por adición de calor.....	14
5.	Formación de gel	15
6.	Comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de almidón en la formulación.....	33
7.	Evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de almidón en la formulación	33
8.	Comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de almidón en la formulación.....	34
9.	Evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de almidón en la formulación.....	34
10.	Comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético en la formulación	35
11.	Evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético en la formulación	35
12.	Comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de ácido acético en la formulación	36
13.	Evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de ácido acético en la formulación	36
14.	Comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina en la formulación.....	37

15.	Evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina en la formulación	37
16.	Comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de glicerina en la formulación	38
17.	Evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de glicerina en la formulación	38

TABLAS

I.	Definición de variables del primer procedimiento experimental	20
II.	Definición de variables del segundo procedimiento experimental	20
III.	Definición de variables del tercer procedimiento experimental	21
IV.	Evaluación de degradabilidad del bioplástico al ser sumergido en ácido sulfúrico	28
V.	Evaluación de la expansión polimérica a partir de la densidad del plástico biodegradable	29
VI.	Tabla de análisis de varianza	31

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CH_3COOH	Ácido acético
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
C_v	Coeficiente de variación
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Glicerina
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
g	Gramo
m	Masa de plástico final
m_o	Masa de plástico inicial
$\bar{x}_i$	Media aritmética de muestra i
mL	Mililitro
x_i	Muestra i
N	Número de muestras
$\%$	Porcentaje
$\%m$	Porcentaje de masa degradada
pH	Potencial de hidrógeno
$\sum_{i=1}^n x_i$	Sumatoria de las muestras i
V	Volumen

GLOSARIO

Ácido sulfúrico	Líquido transparente, incoloro, inodoro, oleoso y altamente corrosivo al tacto, con fórmula química H_2SO_4 .
Almidón de maíz	Polisacárido de color blanquecino, constituido por amilosa y amilopectina, presente en el maíz.
Amorfo	Que no tiene forma regular o definida.
Bioplástico	Tipo de polímero que se fabrica a partir de materias primas naturales y renovables que son degradadas por organismos vivos.
Degradación	Pérdida de calidad de las características y cualidades de un material, que se da de manera progresiva.
Elasticidad	Propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones por una fuerza externa y recuperan su forma original al eliminar la fuerza externa.
Expansión polimérica	Tendencia de los polímeros a incrementar su volumen por unidad de masa, de comportamiento inversamente proporcional a la densidad.

Extensibilidad	Capacidad de un material de ser extendido o estirado sin romperse.
Imbibición	Penetración de cierta cantidad de un líquido en las moléculas de un cuerpo sólido.
Monómero	Molécula de baja masa molecular que puede unirse a otras moléculas pequeñas para formar polímeros.
Plástico	Propiedad de los materiales a los que se les puede dar la forma que se desee, a partir del uso de temperatura y esfuerzo mecánico para moldearlos.
Polímero	Macromoléculas formadas por la unión de monómeros, con alto peso molecular y características propias.
Precipitación	Caída de partículas líquidas o sólidas, en química es el proceso de obtención de un sólido a partir de una disolución.
Puente de hidrógeno	Atracción dipolo-dipolo entre un átomo de hidrógeno con un átomo electronegativo.
PVC	Policloruro de vinilo. Es un material plástico que surge de la polimerización del cloruro de vinilo y es el derivado del plástico más versátil.

Sinéresis

Separación de un líquido de un gel, obteniendo una fase líquida y sólida separada.

Sol

Sistema de dos fases constituido por una fase líquida continua y una fase sólida dispersa.

RESUMEN

El presente informe tiene como objetivo la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de maíz a escala laboratorio; se evalúa el efecto que tienen las variaciones de los porcentajes de almidón, ácido acético y glicerina de la formulación en la expansión polimérica y la degradabilidad con ácido sulfúrico.

Se prepararon las diferentes formulaciones con la aplicación de calor y la agitación constante hasta que las mezclas se convirtieron en un gel espeso. A cada plástico elaborado se le realizó una medición de masa y volumen para obtener la expansión polimérica. Posteriormente, se sumergieron en una solución de ácido sulfúrico para determinar la degradabilidad. Cuando terminó el periodo y se separó el plástico de la solución de ácido sulfúrico, se secaron al ambiente y se midió su masa final. Se realizaron tres repeticiones para cada variación de porcentaje de almidón, ácido acético y glicerina.

Obtenidos los resultados se determinó que la expansión polimérica con valor promedio mínimo se presentó al agregar 10 mL de ácido acético con una densidad de 0,97 g/mL; la degradabilidad con valor promedio máximo se presentó al agregar 25 mL de glicerina con una degradabilidad del 100 % pasados los veinte días. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza unidimensional en el cual se utilizó el método de Tukey con una confianza de 95 %. El análisis estadístico permitió comprobar que no existe diferencia significativa entre el valor de las medias, únicamente, para los tratamientos de la expansión polimérica al variar el porcentaje de almidón.

OBJETIVOS

General

Elaborar un estudio, a nivel laboratorio, de plástico biodegradable para caracterizar el comportamiento de la expansión y degradación al sintetizarlo con diferentes proporciones de glicerina, almidón de maíz y ácido acético, para evaluar estadísticamente el efecto de la variación de su composición.

Específicos

1. Determinar, por medio de la densidad, el comportamiento de la expansión polimérica de las diferentes formulaciones de plástico sintetizado para identificar el valor promedio mínimo y evaluar el efecto de la variación en su formulación.
2. Determinar, por medio de reducción de masa, el comportamiento de la degradabilidad de las diferentes formulaciones de plástico sintetizado al ser expuestas a ácido sulfúrico para identificar el valor promedio máximo y evaluar el efecto de la variación en su formulación.
3. Evaluar la significancia de los efectos de la variación del porcentaje de glicerina, almidón y ácido acético en forma independiente en la formulación del plástico sobre la expansión polimérica y la degradabilidad, mediante el análisis de varianza unidimensional.

HIPÓTESIS

Es posible evaluar a partir de la expansión y degradabilidad polimérica, el efecto de la variación de forma independiente, de los porcentajes de almidón, ácido acético y glicerina en la formulación de plásticos biodegradables a base de almidón elaborados a escala laboratorio.

Hipótesis de investigación

Hi₁: existe diferencia significativa de, por lo menos, un valor de las medias de expansión y degradabilidad polimérica del plástico biodegradable al variar el porcentaje de almidón, ácido acético y glicerina, en forma independiente, en la formulación.

Hipótesis nula

Ho₁: no existe diferencia significativa entre el valor de las medias de expansión y degradabilidad polimérica del plástico biodegradable al variar el porcentaje de almidón, ácido acético y glicerina, en forma independiente, en la formulación.

INTRODUCCIÓN

Es difícil pensar el mundo actual sin la necesidad de utilizar algún material polimérico. El ser humano ha desarrollado materiales y productos nuevos pero al mismo tiempo surge la problemática de que, luego de utilizados, son desechados. Esto causa grandes volúmenes de residuos debido a que su tiempo de degradación en el ambiente es muy lento.

Ante esta situación, el siguiente documento presenta una opción para minimizar la problemática de la acumulación y degradación de los polímeros derivados del petróleo mediante la elaboración de un plástico biodegradable de origen vegetal, específicamente, del almidón de maíz.

La elaboración del plástico biodegradable a partir del almidón de maíz consiste en la variación de las proporciones de cada uno de los reactivos de la formulación con el fin de evaluar su efecto sobre las propiedades del producto final. Las propiedades a analizar son: la expansión polimérica y la degradación en ácido sulfúrico.

La investigación está desarrollada en cinco capítulos: el primero presenta los antecedentes de la investigación, el panorama de la problemática de la acumulación de polímeros en los vertederos y la delimitación del campo de estudio.

En el segundo capítulo se encuentran los fundamentos teóricos sobre los polímeros y plásticos, las formas para obtener, las propiedades, criterios,

mecanismos de degradabilidad y las ventajas de elaborar plásticos a partir del almidón de maíz.

La metodología experimental se encuentra en el tercer capítulo; se definen las variables del método para cada procedimiento experimental, la delimitación del campo de estudio, y los recursos humanos y materiales disponibles. Se analiza, además, la manera de ordenar la información.

Los resultados y la interpretación de los resultados representan los últimos dos capítulos del trabajo de investigación. Los resultados serán analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza unidimensional con el método de Tukey. Con el análisis estadístico se busca evaluar a partir de la expansión polimérica y degradabilidad, el efecto de la variación de forma independiente, de los porcentajes de almidón, ácido acético y glicerina en la formulación de plásticos a base de almidón.

Se espera que no existan diferencias significativas entre el valor de las medias de expansión y degradabilidad polimérica del plástico biodegradable a base de almidón elaborados a escala laboratorio.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

El hombre, desde las etapas iniciales de su desarrollo social, ha utilizado los recursos de la tierra para su supervivencia y progreso sin que los residuos le hayan provocado un problema significativo. Sin embargo, la generación sin control de desechos y el actual nivel de conciencia que posee la sociedad sobre el cuidado de la ecología y nuestro entorno han obligado a la búsqueda de nuevas tecnologías para crear productos más benignos con el medio ambiente.

A pesar de que el desarrollo industrial es relativamente reciente. Las primeras aplicaciones de plástico se llevaron a cabo en la primera mitad del siglo XIX. En Guatemala tuvo sus comienzos a finales de la década de los cuarenta. La industria del plástico empezó a desarrollar nuevos productos elaborados en plásticos rígidos y en 1975 se introduce el plástico en el ámbito industrial.

En 2005, Gladys Ruiz Avilés realizó un proyecto de investigación titulado: *Polímeros biodegradables a partir de almidón de yuca* como parte de los requerimientos para optar al título de magister en ingeniería de procesamiento de polímeros en la Universidad EAFIT, ubicada en Medellín, Colombia. En dicha investigación se evaluaron las condiciones de obtención del polímero, se determinaron las condiciones para su procesamiento mediante extrusión y su respectiva caracterización.

En 2009, un grupo de científicos de la Pontificia Universidad Católica del Perú inició un estudio denominado *Desarrollo de envases y embalajes biodegradables y compostables para la mejora de la competitividad agroindustrial* con el cual lograron obtener plástico biodegradable y compostable que no afecta el ecosistema. El almidón se obtuvo a partir de la papa con apoyo de investigadores del Centro Internacional de la Papa y de la Universidad agraria La Molina.

En 2013, el estudiante de la carrera de Química Farmacéutica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Carlos Humberto Iguardia Arrivillaga, realizó el trabajo de graduación titulado: *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa sapientum variedad Cavendish)* en el cual utiliza el almidón extraído del banano verde para hacer plástico biodegradable, realizando ensayos de degradabilidad y caracterización fisicoquímica del bioplástico.

En 2016, la estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ana Gabriela Gálvez Arévalo, realizó el trabajo de graduación titulado: *Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (Zea mays)*, en el cual empleó la glicerina y la urea como plastificantes, controlando la temperatura del procedimiento y la proporción de los componentes de la mezcla, logrando caracterizar cualitativamente los bioplásticos obtenidos.

1.2. Justificación

En Guatemala, el uso excesivo de plástico ha llevado a tener problemas en los vertederos de basura, ríos y lagos; producen la acumulación de material no biodegradable. Es difícil pensar en un mundo sin envases, bolsas o utensilios de plástico ya que estos productos se han vuelto de uso diario para la vida. Por tal razón existen investigaciones que buscan la manera de desarrollar plásticos menos contaminantes.

El problema radica en las toneladas de plástico que no se degradan por medio de procesos naturales. La biodegradación es un proceso mediante el cual los microorganismos del suelo, como bacterias y hongos, descomponen en sustancias más sencillas los materiales presentes en este.

El uso de petróleo como materia prima para la producción de plásticos genera problemas ambientales como la emisión de gases de invernadero (metano, óxido nitroso y dióxido de carbono). Además, una cantidad importante de petróleo, un recurso valioso y no renovable, que está destinado a la producción de materiales plásticos.

La elaboración de un material biodegradable a partir de un producto natural como el almidón de maíz es una vía para reducir la problemática de los recursos naturales y la contaminación, siempre y cuando no afecte y priorice la producción de este material sobre las necesidades básicas humanas.

1.3. Determinación del problema

1.3.1. Definición

Existe la necesidad de tener una vía alterna para producir polímero o plásticos más amigables con el ambiente, y de características similares a los elaborados a partir de derivados del petróleo. El plástico biodegradable producido a partir del almidón de maíz es una opción para reducir la acumulación de material plástico en los vertederos del país, por su rápida degradación.

1.3.2. Delimitación

Se realizará plástico biodegradable a partir del almidón de maíz a escala laboratorio; la proporción de almidón, ácido acético y glicerina que produzcan mayor expansión polimérica y mayor degradabilidad. Se utilizará como almidón de maíz el producto comercial de marca Maizena. El estudio busca determinar el efecto que causan las variaciones de proporciones de su formulación en sus propiedades.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Polímeros y plásticos

Estos términos se confunden con facilidad, sin embargo, plástico se refiere a una propiedad del material; la plasticidad, que corresponde a la visión macroscópica de ese material. De una manera general se le llama plásticos a los materiales a los cuales se les puede dar la forma deseada, a partir del uso de temperatura para moldearlos.

Los polímeros, por el otro lado, definen una estructura química, refiriéndose a la visión microscópica del material. Los polímeros se forman por la unión de pequeñas partículas llamadas monómeros y la unión de muchos monómeros constituyen macromoléculas.

La diferencia entre un polímero y un plástico es que los plásticos son un tipo de polímero, pero no cualquier polímero es plástico.

2.2. Polímeros

Los polímeros, por lo tanto, son macromoléculas formadas por la unión de monómeros. La palabra polímero deriva de las palabras griegas *polus*, que significa muchos, y *meros*, que significa partes. Son sustancias con alto peso molecular y características propias.

2.2.1. Polímeros naturales

Son todos aquellos que provienen de la naturaleza, es decir, del reino animal o vegetal. Entre estos se encuentran la celulosa, proteínas, almidón, caucho natural.

2.2.2. Polímeros semisintéticos

Se obtienen a partir de la modificación de un polímero natural por procesos químicos. Entre estos se encuentran la nitrocelulosa, caucho vulcanizado.

2.2.3. Polímeros sintéticos

Se obtienen industrialmente a partir de procesos de polimerización controlada. Se obtienen mediante procesos tecnológicos a partir de monómeros. La mayoría de polímeros sintéticos son derivados del petróleo. Entre estos se encuentran el *nylon*, polietileno, poliestireno, policloruro de vinilo (PVC).

2.3. Propiedades físicas de los polímeros

2.3.1. Elastómeros

Son polímeros naturales y sintéticos con alto grado de elasticidad. Se deforman al someterlos a esfuerzos, pero recuperan su forma original al dejar de realizar esfuerzo sobre estos. Entre estos se encuentran el caucho, el neopreno, siliconas.

2.3.2. Fibras

Son polímeros naturales y sintéticos constituidos por moléculas alargadas que forman hilos delgados y resistentes. Tienen alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, esto permite hacer tejidos en donde sus dimensiones se mantendrán constantes. Entre estos se encuentran el algodón, la lana, el *nylon*, poliéster, dacrón.

2.3.3. Plásticos

Son polímeros sintéticos que pueden ser moldeados a partir de la aplicación de calor o presión. Un ejemplo es el plexiglás o el policloruro de vinilo (PVC). Los plásticos se clasifican según sus propiedades térmicas en termoplásticos y termoestables.

2.3.3.1. Termoplásticos

Son plásticos que sometidos a altas temperaturas se vuelven deformables y al enfriarse se vuelven rígidos; se puede de esta manera darle diferentes formas en repetidas ocasiones. Esta propiedad se debe a que las cadenas moleculares no están unidas entre sí y al calentar el material se pueden desplazar con facilidad, tomando diferente forma al solidificarse. Entre los termoplásticos se encuentran el polietileno, poliestireno, policloruro de vinilo (PVC), polimetacrilato de metilo, comúnmente conocido como plexiglás.

2.3.3.2. Termoestables

Son plásticos que se moldean únicamente en el proceso de fabricación ya que sufren una reacción denominada degradación o fraguado que, una vez

dada la reacción, no se pueden volver a moldear. Esta propiedad se debe a que, durante el fraguado, las distintas cadenas moleculares se entrecruzan que forman una red más resistente a la fusión. Entre los plásticos termoestables más importantes se encuentran la baquelita, la ebonita y el poliuretano.

Este tipo de materiales no pueden ser reciclados ya que al aplicar altas temperaturas, el polímero se modifica completamente.

2.4. Plásticos biodegradables

El plástico biodegradable es un material fabricado de materia prima orgánica, renovable; contribuye con el mantenimiento de las reservas fósiles del planeta. Estos materiales, comparados con los plásticos, tienen mejores ventajas para el medio ambiente ya que no lo dañan.

2.4.1. Criterios de biodegradabilidad

Para seleccionar un polímero como material biodegradable se consideran las propiedades mecánicas requeridas y el tiempo de degradación necesario para la aplicación particular. Las características de estos dos parámetros son:

2.4.1.1. Propiedades mecánicas

Los factores que influyen en las propiedades mecánicas son la selección del monómero y del iniciador de reacción, la presencia de aditivos y las condiciones de procesado.

2.4.1.2. Velocidad de degradación

- Condiciones del medio: temperatura, humedad y pH.
- Características del polímero: presencia de enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, peso molecular, cristalinidad, superficie específica, temperatura de transición vítrea y de fusión.
- Características de los microorganismos: cantidad, variedad, fuente, actividad.

2.4.2. Mecanismos de degradación

2.4.2.1. Fotodegradación

Se producen cambios físicos y químicos en el polímero a partir de la exposición a la luz ultravioleta o luz visible. La energía que se le suministra durante la exposición es mayor que los enlaces del material.

2.4.2.2. Degradación mecánica

La degradación mecánica es causada por los esfuerzos físicos a los cuales se somete el material.

2.4.2.3. Degradación térmica

Se presenta cuando los polímeros son expuestos a elevadas temperaturas y sufren cambios químicos sin la contribución de ningún otro factor, únicamente, por la energía térmica.

2.4.2.4. Degradación química

Se refiere exclusivamente a procesos donde la degradación es inducida por el contacto directo del polímero con reactivos químicos. La degradación química más frecuente es la degradación hidrolítica, la causa de la degradación es el contacto del material con un medio acuoso; la penetración del agua dentro de la matriz polimérica produce el hinchamiento, ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares, hidratación de las moléculas y, finalmente, la hidrólisis de los enlaces inestables.

2.4.2.5. Degradación por microorganismos

Los microorganismos como bacterias, hongos o algas producen una gran variedad de enzimas capaces de reaccionar con polímeros sintéticos y naturales. El ataque enzimático del material es un proceso químico inducido por la necesidad de encontrar el alimento por parte de los microorganismos.

2.4.3. Aplicación

Las aplicaciones de los polímeros biodegradables se han enfocado en tres áreas principalmente: medicina, agricultura, y empaque de productos de consumo. Algunos de estos han resultado en productos comerciales. Debido a su naturaleza especializada y a su mayor valor unitario, las aplicaciones médicas se han desarrollado más rápido que las otras.

Aplicaciones médicas como implantes de cirugía y de soportes para drogas de liberación prolongada, hasta aplicaciones agrícolas como acolchado o recubrimiento de siembras, son ejemplos del uso de plásticos biodegradables.

El uso de mezclas a base de almidón es una realidad comercial debido al bajo costo y gran disponibilidad del almidón. Varias dificultades en cuanto al procesamiento deben resolverse aún. Con base en investigaciones realizadas sobre estos plásticos, se ha demostrado que la velocidad de degradación es básicamente una función de la estructura y el medio ambiente.

2.5. Plásticos a base de almidón

2.5.1. Fécula y almidón

El almidón es una sustancia blanca, ligera y suave al tacto que se encuentra principalmente en las semillas de varias plantas. El término almidón suele utilizarse para denominar al producto industrial extraído de las semillas de los cereales (trigo, arroz, maíz, etc.)

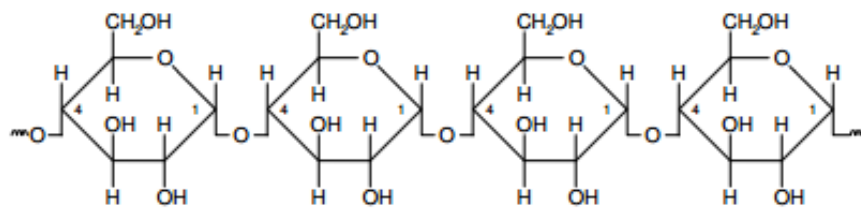
El nombre de fécula es utilizado particularmente para designar el almidón de los órganos subterráneos, tubérculos y raíces, ejemplo, la fécula de papa, la fécula de yuca, etc.

2.5.2. El almidón

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 los almidones es amilosa y el 80 % amilopectina. La principal diferencia entre las dos macromoléculas es su estructura; la forma en que se unen las unidades de glucosa entre sí para formar cadenas. Esto es determinante para sus propiedades ya que la amilosa es soluble en agua y más hidrolizable que la amilopectina.

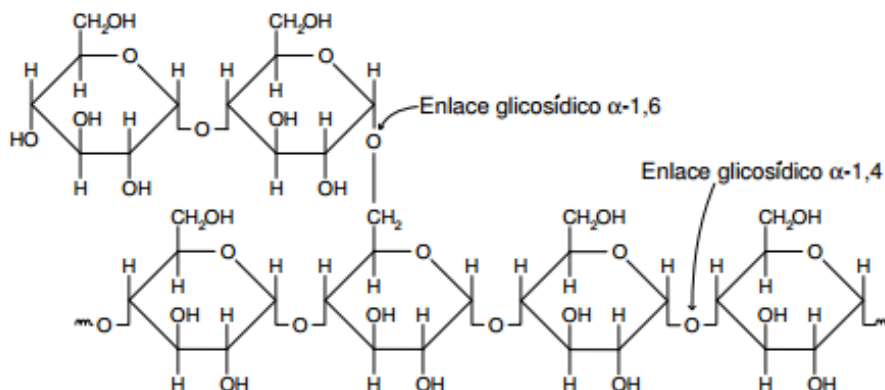
El almidón se obtiene de los vegetales que lo sintetizan a partir del dióxido de carbono que absorben del aire y del agua que reciben del suelo. Durante el proceso se absorbe la energía del sol y se almacena en forma de glucosa y uniones entre estas moléculas para formar largas cadenas de almidón, logrando tener hasta 2 000 o 3 000 unidades de glucosa.

Figura 1. **Estructura de molécula de amilosa**



Fuente: RUIZ, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. p. 8.

Figura 2. **Segmento de una molécula de amilopectina**



Fuente: RUIZ, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. p. 9.

2.5.3. Propiedades del almidón

Existen varias propiedades que posee el almidón y que determinan la forma en que debe tratarse, según el uso para el que se le requiera.

2.5.3.1. Gelatinización

El almidón en su estado nativo es insoluble en agua. Forma una suspensión temporal de grandes partículas, que no se disuelven en el medio que las rodea y se depositan en el fondo del recipiente a menos que esté en agitación constante. Las partículas pueden absorber pequeñas cantidades de agua. La absorción de agua por el almidón es reversible si el almidón se seca y aún no ha sido cocido. El almidón no cocido presenta una forma de cruz de malta.

Figura 3. Almidón no gelatinizado observado con luz polarizada

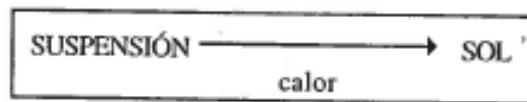


Fuente: VACLAVIK, Vickie. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. p. 48.

Cuando el almidón se calienta en presencia de agua, se produce imbibición, o incorporación de agua en el gránulo. Esto se produce en las regiones menos densas y, posteriormente, en las regiones más cristalinas de la molécula de almidón. Los gránulos de almidón captan más agua irreversiblemente y se hinchan. Este proceso de gelatinización funciona como espesante en los alimentos y en la industria.

A medida que el almidón sale de los gránulos hinchados, la mezcla se convierte en un sol. Un sol es un sistema de dos fases constituido por una fase líquida continua y una fase sólida dispersa. Se puede verter y tiene baja viscosidad.

Figura 4. **Formación de sol por adición de calor**



Fuente: VACLAVIK, Vickie. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. p. 49.

La gelatinización conlleva una pérdida de la estructura cristalina del almidón, que se presenta como la desaparición de la forma de cruz de malta cuando se observa bajo luz polarizada con un microscopio electrónico.

2.5.3.2. Características

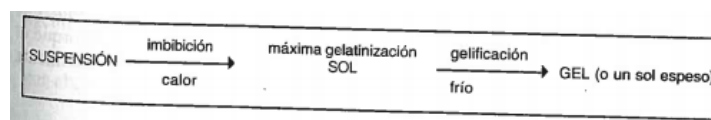
- La temperatura de gelatinización se alcanza dependiendo del tipo de almidón, aproximadamente de 60°C a 70°C.

- La energía cinética de las moléculas de agua caliente rompe los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón y el agua es capaz de penetrar en el gránulo de almidón, que provoca el hinchamiento.
- Se produce la difusión de algunas cadenas de amilosa a medida que salen de los gránulos de almidón.
- Se pierde la forma de cruz de malta y la estructura cristalina ordenada del gránulo de almidón. El material se vuelve más traslucido porque el índice de refracción del gránulo expandido está próximo al del agua.
- El hinchamiento del gránulo aumenta a medida que aumenta la temperatura. Los gránulos de almidón más grandes son los primeros en hincharse.
- Los gránulos de almidón hinchados ocupan un mayor volumen y la mezcla espesa a medida que los gránulos aumentan su tamaño.

2.5.3.3. Retrogradación

Posterior a la gelatinización, en el momento en que deja de introducirse calor y comienza la etapa de enfriamiento, la viscosidad crece de nuevo y se presenta el fenómeno denominado retrogradación.

Figura 5. **Formación de gel**



Fuente: VACLAVIK, Vickie. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. p. 53.

La retrogradación se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno. Los almidones tienen diferentes tendencias a la retrogradación, la cual está relacionada con su contenido de amilosa.

Existen dos rutas por las cuales se puede dar la retrogradación que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema.

2.5.3.4. Retrogradación rápida

Al calentar una solución concentrada de amilosa, se enfría de manera rápida hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible.

2.5.3.5. Retrogradación lenta

Una solución diluida de amilosa se calienta y luego se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente, se vuelve opaca y precipita.

Cuando las cadenas lineales se colocan de forma paralela, formando puentes de hidrógeno y se reordenan, el agua retenida es expulsada fuera de la red; produce sinéresis, es decir, se separa la fase sólida (cristales de amilosa y amilopectina) y la fase acuosa (agua líquida).

La sinéresis ocurre cuando el gel se ha formado inapropiadamente, y especialmente cuando el gel se ha expuesto a los efectos de ciclos de congelación-descongelación. A medida que el agua se congela y se descongela, el agua formada por fusión de los cristales de hielo no es capaz de reasociarse con el almidón. Las estructuras de amilosa resultantes son frágiles,

pierden fácilmente el agua atrapada. Por tanto, en productos comerciales para controlar este efecto indeseable se usan almidones modificados o almidones que contienen sólo amilopectina no gelificante.

2.5.3.6. Transición vítrea

La transición vítrea de un material polimérico se refiere al cambio inducido por el calor sobre las características de un polímero, el cual con el incremento de la temperatura pasa de sólido frágil y quebradizo a flexible.

La temperatura a la cual ocurre este fenómeno se conoce como temperatura de transición vítrea, que tiene influencia sobre varias propiedades del polímero, entre las cuales se encuentran la rigidez en las cadenas, entrecruzamiento de cadenas, presencia de cristales, incremento de las secciones amorfas.

2.5.3.7. Desestructuración

La desestructuración del almidón natural, es la transformación de los granos del almidón semicristalinos en una matriz homogénea de polímero amorfo y en el rompimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón y la despolimerización parcial de las moléculas.

El proceso de desestructuración puede generarse por la aplicación de energía al almidón. Los factores químicos y físicos involucrados son temperatura, esfuerzo cortante, tasa de esfuerzo, tiempo de residencia, contenido de agua y cantidad de energía aplicada.

2.6. Ventajas de los polímeros biodegradables

Los plásticos biodegradables ofrecen amplios beneficios para mejorar el estilo de vida y el medio ambiente, a comparación con los plásticos convencionales.

- **Tiempo de degradación:** los plásticos biodegradables tardan menos en descomponerse que los plásticos convencionales. La descomposición de estos materiales reduce el volumen de los vertederos sanitarios y producen agua y oxígeno molecular.
- **Salud ambiental:** los plásticos biodegradables se descomponen con mayor facilidad sin causar daños al ambiente. El proceso de fabricación de plásticos biodegradables es más amigable para el planeta ya que produce menos gases de efecto invernadero, reduciendo el daño a la capa de ozono.
- **Salud humana:** los plásticos biodegradables no perjudican a los seres humanos. Cuando se utilizan estos materiales, se reduce el peligro de que exista contaminación por algún tipo de emisión química al producirlos o utilizarlos.
- **Clasificación:** la utilización de plásticos biodegradables de manera regular, facilitará la forma en que se manejan los desechos sólidos. Se invertirá menos tiempo en clasificar el tipo de plástico y se puede descartar con responsabilidad social.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables del método

En la metodología de la elaboración de un plástico biodegradable se utilizarán variables físicas.

3.1.1. Variables físicas

- Masa de almidón de maíz
- Volumen de glicerina
- Volumen de ácido acético
- Temperatura de solución
- Temperatura de secado
- Densidad de plástico
- Concentración de ácido sulfúrico
- Tiempo

3.1.2. Variables del primer procedimiento experimental

Dentro de la experimentación se utilizarán diferentes proporciones con el fin de obtener la formulación con mejores características. En el primer procedimiento experimental se mantendrá constante la proporción de ácido acético y glicerina, variando la proporción de almidón de maíz.

Tabla I. **Definición de variables del primer procedimiento experimental**

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Independiente	Dependiente
1	Volumen de agua	mL	X		X	
2	Masa de almidón de maíz	g		X	X	
3	Volumen de glicerina	mL	X		X	
4	Volumen de ácido acético	mL	X		X	
5	Densidad de plástico	g/mL		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Variables del segundo procedimiento experimental

Dentro de la experimentación se utilizarán diferentes proporciones para obtener la formulación con mejores características. En el segundo procedimiento experimental se mantendrá constante la proporción de almidón de maíz y glicerina variando la proporción de ácido acético.

Tabla II. **Definición de variables del segundo procedimiento experimental**

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Independiente	Dependiente
1	Volumen de agua	mL	X		X	
2	Masa de almidón de maíz	g	X		X	

Continuación de la tabla II.

3	Volumen de glicerina	mL	X		X	
4	Volumen de ácido acético	mL		X	X	
5	Densidad de plástico	g/mL		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Variables del tercer procedimiento experimental

Dentro de la experimentación se utilizarán diferentes proporciones con el fin de obtener la formulación con mejores características. En el segundo procedimiento experimental se mantendrá constante la proporción de almidón de maíz y ácido acético variando la proporción de glicerina.

Tabla III. Definición de variables del tercer procedimiento experimental

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Independiente	Dependiente
1	Volumen de agua	mL	X		X	
2	Masa de almidón de maíz	g	X		X	
3	Volumen de glicerina	mL		X	X	
4	Volumen de ácido acético	mL	X		X	
5	Densidad de plástico	g/mL		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La investigación se delimitará a la elaboración a escala laboratorio de plástico biodegradable a partir de almidón de maíz, determinando la proporción con mejor expansión polimérica y mayor degradabilidad. Se aplicarán conceptos de síntesis y técnicas analíticas para lograr las proporciones adecuadas de la experimentación.

3.2.1. Etapas de la investigación

- Recolección de la materia prima
- Elaboración de bioplásticos a partir de la materia prima
- Proceso natural de secado de los bioplásticos
- Medición de masa y volumen de los bioplásticos
- Elaboración de ensayo de degradabilidad con ácido sulfúrico 5 %

3.2.2. Ubicación del desarrollo de la investigación

- Laboratorio de Fisicoquímica, tercer nivel, edificio T-5, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Guatemala.
- Laboratorio 2 de Química, primer nivel, edificio T-5, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

La recolección de materia prima, la elaboración de plástico biodegradable y el posterior manejo de datos obtenidos en la experimentación estarán a cargo del investigador Edgar Leonel Mollinedo Paiz; asistido por la Inga. Qca. Adela María Marroquín González.

3.4. Recursos materiales disponibles

Según la metodología experimental propuesta, se requerirá del siguiente equipo, cristalería y reactivos:

3.4.1. Equipo

- Campana de extracción
- Plancha de calentamiento
- Moldes
- Balanza analítica
- Termómetro

3.4.2. Cristalería

- Pipetas volumétrica y serológica
- *Beaker*
- Probeta
- Varilla de agitación
- Vidrio de reloj

3.4.3. Reactivos

- Almidón de maíz marca Maizena
- Agua desmineralizada
- Glicerina
- Ácido acético
- Ácido sulfúrico al 5 %

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Se trabajará con base en una técnica cualitativa; se observará color, humedad, dureza y demás características físicas del plástico; cuantitativa ya que se desea determinar la expansión polimérica por medio de la densidad y analizar la degradación del plástico aplicando ácido sulfúrico al 5 %.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

3.6.1. Metodología experimental variando la proporción de almidón de maíz

- En un *beaker* agregar 60 mL de agua.
- Agregar 10 g de almidón de maíz de marca Maizena.
- Agregar 5 mL de glicerina.
- Agregar 5 mL de ácido acético.
- Agitar la mezcla hasta obtener una solución homogénea.

- Calentar la solución a una temperatura entre 60 °C a 70 °C y agitar constantemente hasta obtener una consistencia gelatinosa.
- Trasladar la mezcla caliente a un molde para darle la forma deseada.
- Retirar el material de los moldes y secar al ambiente.
- Realizar el procedimiento anterior variando la proporción de almidón de maíz, Maizena, con valores de 15, 20, 25, 30 g.
- Realizar 3 repeticiones por tratamiento para cada proporción.

3.6.2. Metodología experimental variando la proporción de ácido acético

- En un *beaker* agregar 60 mL de agua.
- Agregar 10 g de almidón de maíz de marca Maizena.
- Agregar 5 mL de glicerina.
- Agregar 5 mL de ácido acético.
- Agitar la mezcla hasta obtener una solución homogénea.
- Calentar la solución a una temperatura entre 60 °C a 70 °C y agitar constantemente hasta obtener una consistencia gelatinosa.

- Trasladar la mezcla caliente a un molde para darle la forma deseada.
- Retirar el material de los moldes y secar al ambiente.
- Realizar el procedimiento variando la proporción de ácido acético, con valores de 10, 15, 20, 25 g.
- Realizar 3 repeticiones por tratamiento para cada proporción.

3.6.3. Metodología experimental variando la proporción de glicerina

- En un *beaker* agregar 60 mL de agua.
- Agregar 10 g de almidón de maíz de marca Maizena.
- Agregar 5 mL de glicerina.
- Agregar 5 mL de ácido acético.
- Agitar la mezcla hasta obtener una solución homogénea.
- Calentar la solución a una temperatura entre 60 °C a 70 °C y agitar constantemente hasta obtener una consistencia gelatinosa.
- Trasladar la mezcla caliente a un molde para darle la forma deseada.
- Retirar el material de los moldes y secar al ambiente.

- Realizar el procedimiento variando la proporción de glicerina, con valores de 10, 15, 20, 25 g.
- Realizar 3 repeticiones por tratamiento para cada proporción.

3.6.4. Metodología experimental para la evaluación de la expansión polimérica a partir de la densidad del plástico biodegradable

- Medir la masa del plástico mediante una balanza analítica.
- Medir el volumen del plástico a través del método de desplazamiento de agua.
- Calcular la densidad del plástico a partir de la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

3.6.5. Metodología experimental para la evaluación de la degradabilidad del plástico con ácido sulfúrico

- Medir la masa del plástico en cuestión.
- Sumergir completamente el plástico en una solución de H₂SO₄ al 5 %.
- Dejar reposar el plástico biodegradable por 20 días.
- Separar el plástico biodegradable del ácido sulfúrico, secar y medir la masa del plástico.

- Obtener el porcentaje de masa de plástico perdido por medio de la siguiente ecuación:

$$\%m = \frac{(m_o - m)}{m_o} * 100 \quad \text{[Ecuación 2]}$$

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla IV. **Evaluación de degradabilidad del bioplástico al ser sumergido en ácido sulfúrico**

Evaluación de la degradabilidad					
Variable	Almidón de maíz				
Valores	10	15	20	25	30
Masa inicial					
Masa final					
Porcentaje de degradabilidad					
Variable	Ácido acético				
Valores	5	10	15	20	25
Masa inicial					
Masa final					
Porcentaje de degradabilidad					
Variable	Glicerina				
Valores	5	10	15	20	25
Masa inicial					
Masa final					
Porcentaje de degradabilidad					

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Evaluación de la expansión polimérica a partir de la densidad del plástico biodegradable**

Evaluación de la expansión polimérica a partir de la densidad del plástico biodegradable					
Variable	Almidón de maíz				
Valores	10	15	20	25	30
Masa					
Volumen					
Densidad					
Variable	Ácido acético				
Valores	5	10	15	20	25
Masa					
Volumen					
Densidad					
Variable	Glicerina				
Valores	5	10	15	20	25
Masa					
Volumen					
Densidad					

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se obtendrán los valores promedio de densidades y de degradabilidad del plástico para, luego, evaluar la significancia de los efectos de la variación del porcentaje de glicerina, almidón y ácido acético en forma independiente, en la

formulación del plástico, sobre la expansión polimérica y la degradabilidad, mediante análisis de varianza unidimensional, con las siguientes ecuaciones:

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

- Desviación estándar

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

- Coeficiente de variación

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

- Suma total de cuadrados

$$TSS = \sum_{ij} (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad [\text{Ecuación 6}]$$

- Suma de cuadrados entre tratamientos

$$SST = n \sum_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad [\text{Ecuación 7}]$$

- Suma de cuadrados por error

$$SSE = \sum_{ij} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Tabla VI. **Tabla de análisis de varianza**

Fuente	SS	Df	MS	F
Tratamiento	SST	t-1	MST	MST/MSE
Error	SSE	N-t	MSE	
Total	TSS	N-1		

Fuente: LYTMAN, R. *An introduction to statistical methods and data analysis*. p. 882.

- Cuadrado medio por tratamiento

$$MST = \frac{SST}{(t-1)} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

- Cuadrado medio por error

$$MSE = \frac{SSE}{(N-t)} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

- Método de Tukey

$$(\bar{y}_i - \bar{y}_j) - HSD \leq \mu_i - \mu_j \leq (\bar{y}_i - \bar{y}_j) + HSD \quad \text{[Ecuación 11]}$$

- Diferencia honestamente significativa

$$HSD = q_{\alpha;1,N-1} \sqrt{\frac{MSE}{n}} \quad \text{[Ecuación 12]}$$

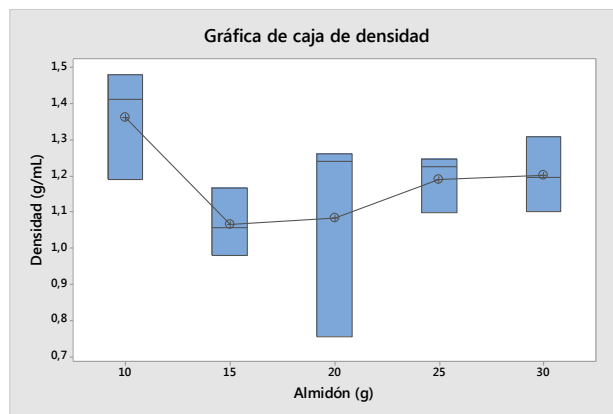
3.9. Plan de análisis de los resultados

3.9.1. Programas para el análisis de datos

- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010
- MiniTab 17 Statistical Software

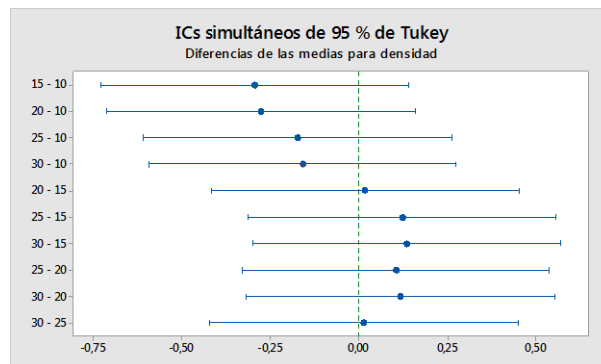
4. RESULTADOS

Figura 6. Comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de almidón en la formulación



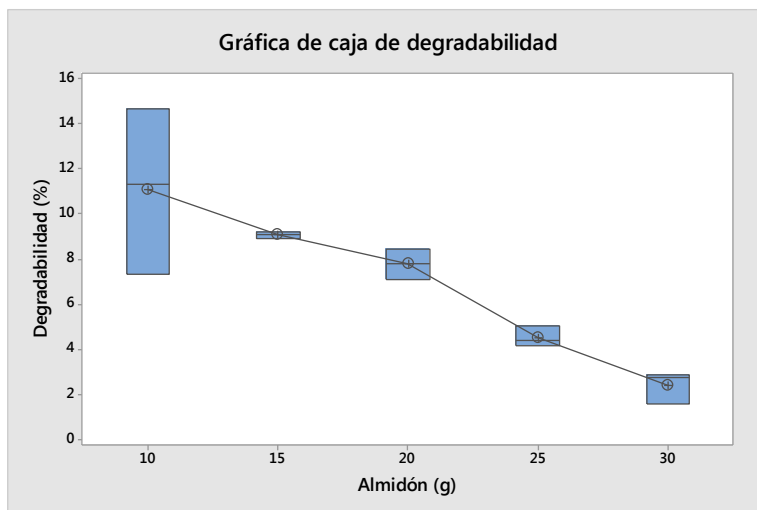
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de almidón en la formulación



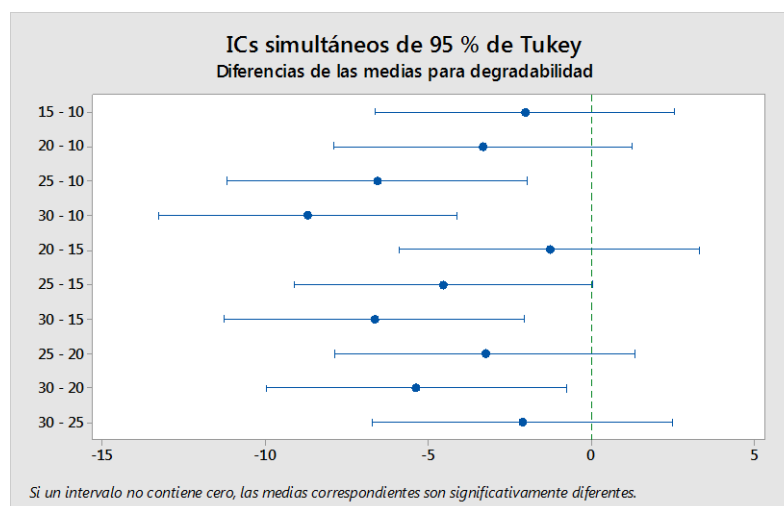
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de almidón en la formulación**



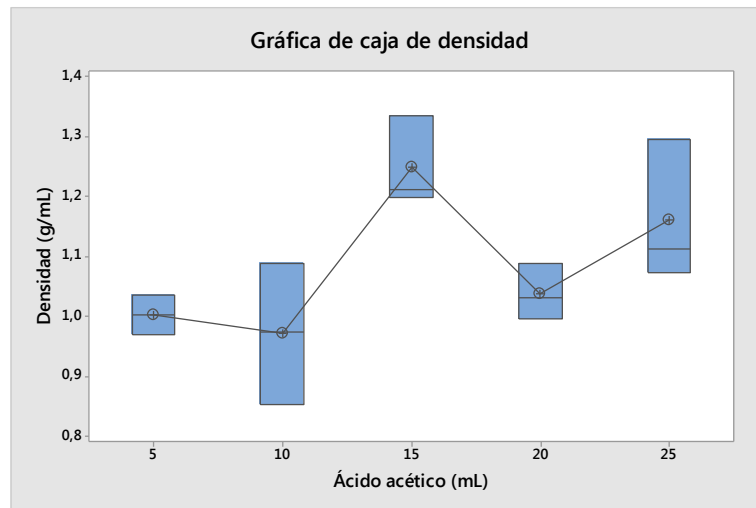
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de almidón en la formulación**



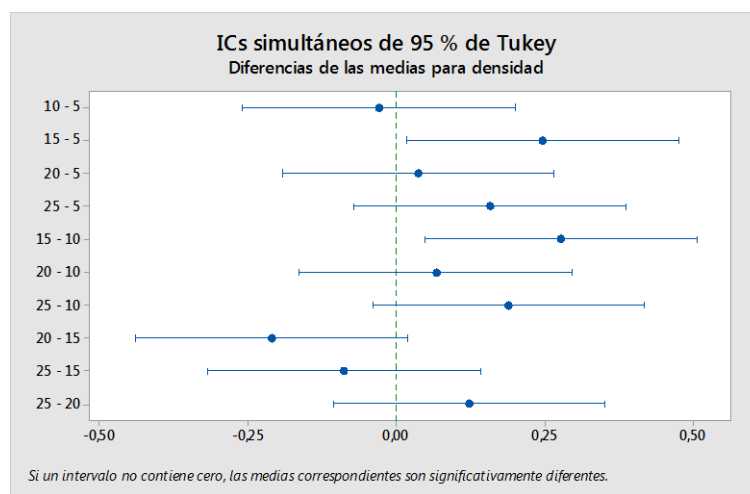
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético en la formulación**



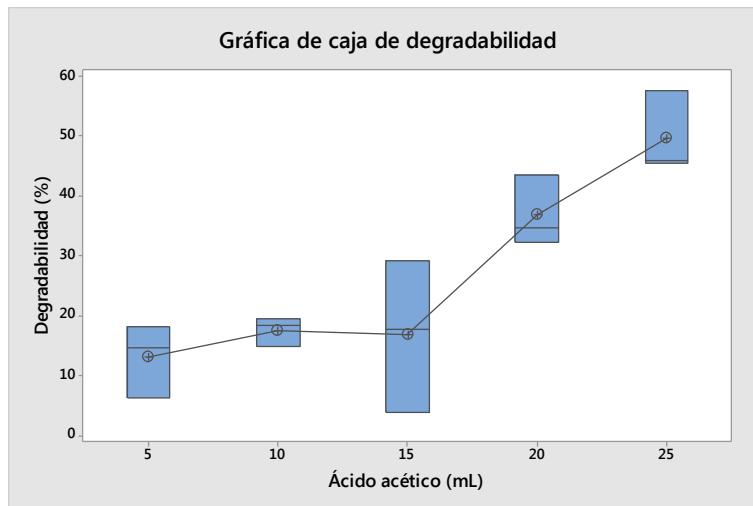
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético en la formulación**



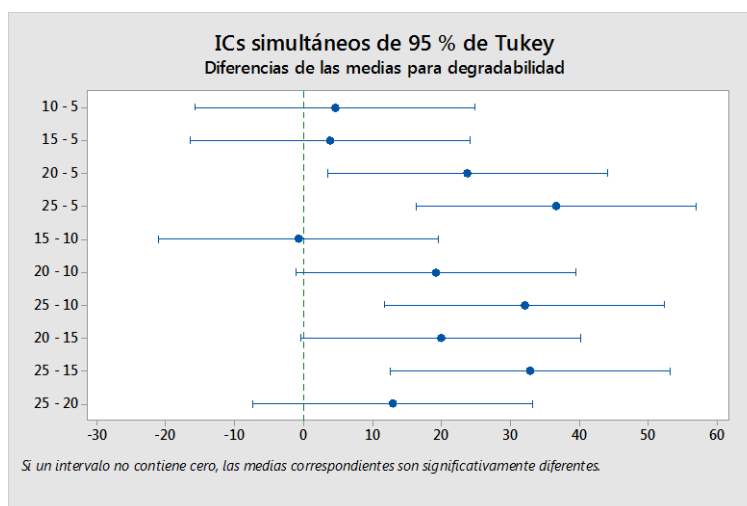
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de ácido acético en la formulación



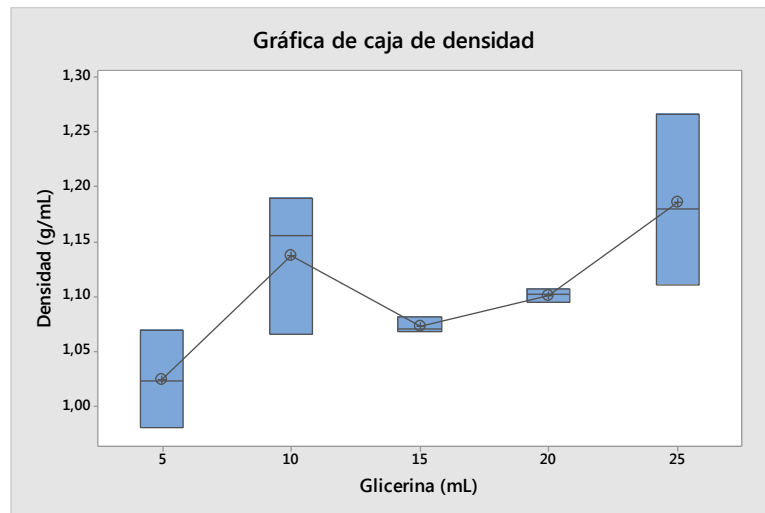
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de ácido acético en la formulación



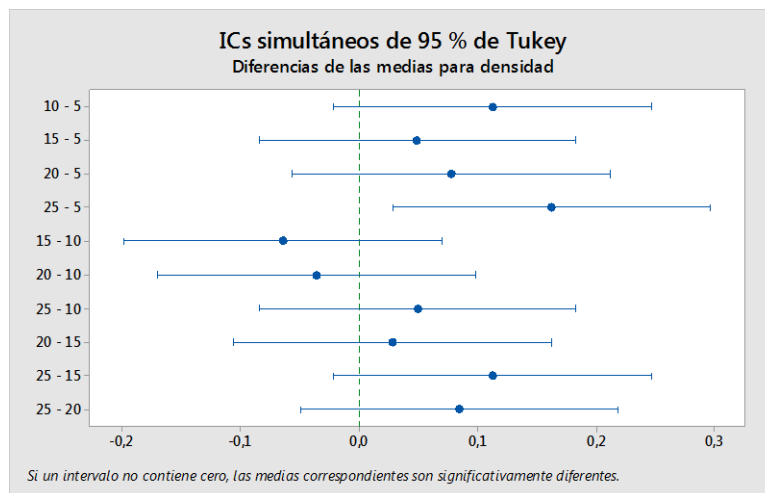
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina en la formulación**



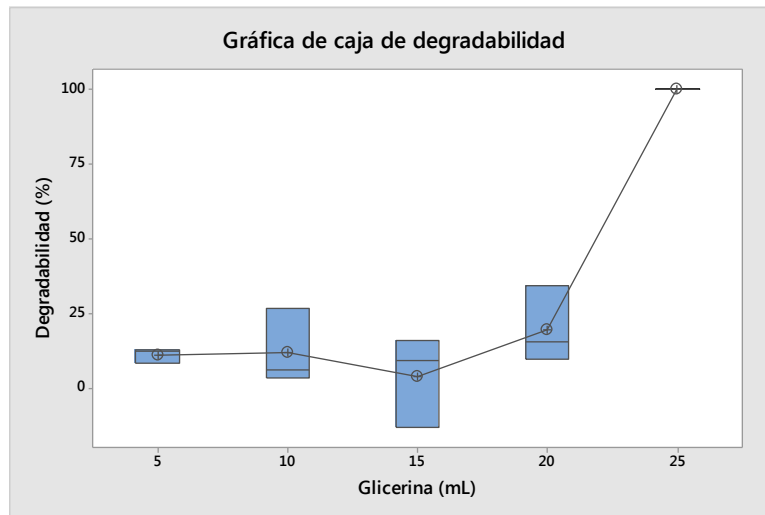
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina en la formulación**



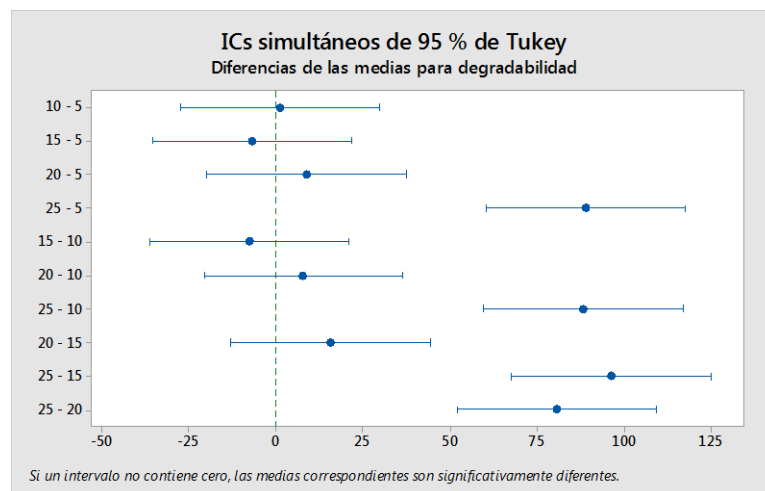
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de glicerina en la formulación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de glicerina en la formulación**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La elaboración de plástico biodegradable se muestra como el producto de una búsqueda de nuevas alternativas de disminución de costos de materia prima, aprovechamiento de almidones y, principalmente, reducción de la contaminación. Para ello se utilizó almidón de maíz, ácido acético y glicerina en una base de 60 mL de agua. Se variaron las proporciones de cada reactivo de manera independiente para analizar el efecto de cada uno con la expansión polimérica y la degradabilidad, completando tres repeticiones para cada tratamiento.

La expansión polimérica se obtuvo a partir de la densidad del producto terminado, se midió la masa y el volumen para cada repetición y se determinaron los valores promedio de densidad. La degradabilidad se realizó sumergiendo los plásticos en una solución de ácido sulfúrico a una concentración de 5 % durante 20 días; representó el porcentaje de degradabilidad por la diferencia de masa antes y después de la experimentación.

En la figura 6 se muestra el comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de almidón. Al aumentar la cantidad de almidón, las moléculas de almidón se encuentran de una manera más cercana o compacta, aumentando su cantidad por unidad de volumen y, por lo tanto, aumentando la densidad. Se puede establecer que la relación entre la expansión polimérica y la densidad es inversamente proporcional. La tendencia de la curva, exceptuando las densidades obtenidas agregando 10 g de almidón, presenta una tendencia positiva. La menor densidad promedio que representa a la mayor

expansión polimérica se obtiene al agregar 15 g de almidón con un valor de 1,07 g/mL. La gráfica de cajas permite observar que las densidades obtenidas al agregar 20 g de almidón se encuentran con mayor dispersión.

La evaluación de la expansión polimérica del plástico al variar la proporción de almidón se encuentra representada en la figura 7, por las pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de medias. La figura muestra que, con un índice de confianza del 95 %, las diferencias de las medias no son significativas. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula que indica que no existe diferencia significativa en la expansión polimérica al variar la proporción de almidón.

La figura 8 muestra el comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción del almidón. La tendencia de la curva es negativa, indica que al aumentar la cantidad de almidón, la degradabilidad disminuye. Este comportamiento se puede atribuir a que, los plásticos elaborados se sumergieron en la misma cantidad de solución de ácido sulfúrico al 5 %; genera una degradación hidrolítica en la que el contacto del material con el medio acuoso produce la penetración del agua dentro del plástico, hidrata las moléculas, rompe los puentes de hidrógeno e hidroliza los enlaces. Al tener una mayor cantidad de almidón, la penetración del agua hacia la matriz polimérica es más lenta, que refleja el comportamiento en un menor porcentaje de degradabilidad. La mejor degradabilidad polimérica presenta un valor promedio de 11,11 % y una distribución de datos con mayor dispersión al agregar 10 g de almidón.

La evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de almidón se muestra en la figura 9. La prueba simultánea de Tukey para las diferencias de medias indica que, con un índice de confianza del 95 %, las

diferencias de las medias son significativas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que hace referencia a que existe diferencia significativa en la degradabilidad polimérica al variar la proporción de almidón.

En la figura 10 se encuentra el comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético. El ácido acético tiene el papel de catalizador en la reacción y modifica el almidón, que produce diferentes grados de sustitución de las moléculas. Según el grado de modificación, el almidón tiene diferentes aplicaciones. La curva muestra que las densidades al agregar 10 mL presentan una mayor dispersión, al mismo tiempo, el valor promedio mínimo de densidad 0,97 g/mL. Los plásticos con mayor densidad tienen bajos grados de sustitución los cuales no son las mejores opciones para crear materiales plásticos biodegradables ya que tienen un tiempo mayor de degradabilidad.

La evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético se muestra en la figura 11. La prueba simultánea de Tukey para las diferencias de medias indica que, con un índice de confianza del 95 %, las diferencias de las medias son significativas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna la cual hace referencia a que existe diferencia significativa en la expansión polimérica al variar la proporción de almidón.

Sin embargo, el comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de ácido acético representado en la figura 12 muestra lo contrario que la figura 10. El plástico con mayor porcentaje de degradabilidad se muestra al agregar 25 mL de ácido acético con un valor de 49,54 %. Este resultado puede deberse a que el ácido acético al estar en exceso y por las características del almidón de ser sensible a la humedad, el material se degrada

con mayor facilidad. La tendencia del porcentaje de degradabilidad aumenta conforme aumenta la cantidad de ácido acético agregado y los valores de degradabilidad al agregar 15 mL de ácido acético presentan una mayor dispersión.

La figura 13 representa la evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de ácido acético. Esta figura respalda la tendencia de la figura 12 ya que la prueba simultánea de Tukey para las diferencias de medias indica que, con un índice de confianza del 95 %, las diferencias de las medias son significativas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna la cual hace referencia de que existe diferencia significativa en el porcentaje de degradabilidad al variar la proporción de ácido acético en la formulación.

La figura 14 muestra el comportamiento de la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina. La glicerina es un aditivo plastificante natural, el cual permite que la mezcla tenga una mayor densidad. Como reflejo de ello, la tendencia de la curva es positiva, muestra que al aumentar la cantidad de glicerina en el plástico su densidad aumenta. El plástico con menor densidad promedio se da al agregar 5 mL de glicerina, con un valor de 1,02 g/mL. Los datos obtenidos para esta figura muestran una mayor dispersión para las experimentaciones con 5 mL, 10 mL y 25 mL de glicerina; esto puede ser atribuido a que la glicerina, por ser un material muy viscoso, ocasiona errores de medición en la formulación.

En la figura 15 se encuentra la evaluación de la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina, se utiliza la prueba simultánea de Tukey para las diferencias de medias. Con un índice de confianza del 95 %, las diferencias de las medias son significativas, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se

acepta la hipótesis alterna la cual hace referencia de que existe diferencia significativa en la expansión polimérica al variar la proporción de glicerina en la formulación.

El comportamiento de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de almidón se encuentra en la figura 16. La glicerina al mismo tiempo que funciona como plastificante, también, es una sustancia con elevada capacidad higroscópica. Muestra de ello, la tendencia de la curva indica que el porcentaje de degradabilidad aumenta al aumentar la proporción de glicerina en la formulación. La humedad que absorbe la glicerina afecta principalmente a las propiedades del almidón, que hacen que el material se degrade con mayor facilidad. El plástico con mayor porcentaje de degradabilidad promedio se presenta al agregar 25 mL de glicerina con un valor del 100 %.

La evaluación de la degradabilidad del plástico al variar la proporción de glicerina de la figura 17 muestra que al utilizar la prueba simultánea de Tukey para las diferencias de medias y con un índice de confianza del 95 %, las diferencias de las medias son significativas; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna la cual hace referencia de que existe diferencia significativa en el porcentaje de degradabilidad al variar la proporción de glicerina en la formulación.

CONCLUSIONES

1. La expansión polimérica al variar la proporción de almidón presenta un valor promedio mínimo de densidad de 1,07 g/mL al agregar 15 g y una distribución con mayor dispersión al agregar 20 g.
2. La expansión polimérica al variar la proporción de ácido acético presenta un valor promedio mínimo de densidad de 0,97 g/mL al agregar 10 mL y una distribución de datos más dispersa al agregar 10 mL y 25 mL.
3. La expansión polimérica al variar la proporción de glicerina presenta un valor promedio mínimo de densidad de 1,02 g/mL al agregar 5 mL y una distribución de datos más dispersa al agregar 25 mL.
4. El comportamiento de las variables de la expansión polimérica al variar la proporción de almidón, ácido acético y glicerina en la formulación no presenta una tendencia definida.
5. La degradabilidad polimérica al variar la proporción de almidón presenta un valor promedio máximo de 11,11 % y una distribución de datos más dispersa al agregar 10 g. El comportamiento de degradabilidad en función de la proporción de almidón presenta una tendencia negativa; al aumentar el ácido acético disminuye la expansión polimérica.
6. La degradabilidad polimérica al variar la proporción de ácido acético presenta un valor promedio máximo de 49,64 % al agregar 25 mL y una

distribución de datos más dispersa al agregar 15 mL. El comportamiento de la degradabilidad en función de la proporción de ácido acético presenta una tendencia positiva; al aumentar el ácido acético aumenta la degradabilidad polimérica.

7. La degradabilidad polimérica al variar la proporción de glicerina presenta un valor promedio máximo de 100 % al agregar 25 mL y una distribución de datos más dispersa al agregar 15 mL. El comportamiento de la degradabilidad en función de la proporción de glicerina no presenta una tendencia definida.
8. Los valores de la expansión polimérica del plástico biodegradable al variar el porcentaje de almidón no cambian significativamente, según el análisis de varianza unidimensional, del cual se obtuvo un valor de probabilidad de $p = 0,252$ para un valor de significancia de $\alpha = 0,05$.
9. Según el análisis de varianza unidimensional, los valores de la expansión polimérica del plástico biodegradable, al variar el porcentaje de ácido acético y glicerina, cambian significativamente, obteniendo un valor de probabilidad de $p = 0,013$ y $p = 0,023$ respectivamente, para un valor de significancia de $\alpha = 0,05$.
10. Los valores del porcentaje degradabilidad del plástico biodegradable, al variar el porcentaje de almidón, ácido acético y glicerina, cambian significativamente, según el análisis de varianza unidimensional, del cual se obtuvo un valor de probabilidad de $p = 0,001$, $p = 0,001$ y $p = 0,0$ respectivamente, para un valor de significancia de $\alpha = 0,05$.

RECOMENDACIONES

1. Realizar la metodología experimental, utilizando un almidón o fécula diferente al almidón del maíz, proveniente, por ejemplo: de yuca y papa.
2. Realizar el método de degradabilidad únicamente con un volumen definido de agua, en lugar de la solución de ácido sulfúrico al 5 %.
3. Formar películas de plástico biodegradable, sustituyendo los bloques formados, para evaluar la degradabilidad en un menor tiempo.
4. Establecer una temperatura para retirar del suministro de energía térmica el gel formado.
5. Agregar a la formulación algún polímero sintético para mejorar las características del plástico biodegradable.
6. Repetir las experimentaciones de expansión polimérica al variar las proporciones de almidón, ácido acético y glicerina y las experimentaciones de degradabilidad al variar la proporción de glicerina ya que no presentaron una tendencia definida.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERNAL, Lilia.; MARTÍNEZ, Eleazar. *Una nueva visión de la degradación del almidón. Revista del centro de investigación.* México: Universidad La Salle, 2006, 7(25). 90 p.
2. ECO-SITIO. *Plásticos biodegradables, una alternativa verde.* [en línea]. <<http://www.eco-sitio.com.ar/node/114>> [Consulta: 14 de enero de 2017].
3. GÁLVEZ, Ana Gabriela. *Elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón extraído del maíz (Zea mays).* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 90 p.
4. MEDINA, Roselina. *Plásticos biodegradables. Revista ¿Cómo ves?* México: UNAM, 2005. 25 p.
5. PLASTIVIDA. *Degradación de los materiales plásticos.* [en línea]. <<http://www.ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>> [Consulta: 8 de marzo de 2017].
6. QUINTERO, Daniel.; RAMÍREZ, Jeferson. *Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de Los Andes, Departamento de Ingeniería Química, 2013. 21 p.

7. RUÍZ, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca*. *Revista Ingeniería y Ciencia*. Colombia: Universidad EAFIT, 2005, 2(4). 28 p.
8. SAMPIERI, Roberto.; COLLADO, Carlos.; LUCIO, Pilar. *Metodología de la investigación*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2006. 882 p.
9. STEVENS, E. S. *Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics*. New Jersey, EE.UU.: Princeton University Press, 2002. 238 p.
10. Universidad Autónoma de México. *Administración de manuales y documentos*. [en línea].
<http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Gelatinizacionyretrogradacion_25483.pdf> [Consulta: 6 de mayo de 2017].
11. VACLAVIK, Vickie A. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. España: Acribia S.A., 1998. 89 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Masa de los plásticos biodegradables al variar la proporción de almidón en su formulación

Variación	MASA (g)			PROMEDIO (g)
Almidón (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
10,00	11,25	12,71	11,54	11,83
15,00	25,65	25,32	22,48	24,48
20,00	32,12	23,78	22,22	26,04
25,00	40,56	39,15	41,05	40,25
30,00	41,81	44,22	45,72	43,92

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Volúmenes que ocupan los plásticos biodegradables al variar la proporción de almidón en su formulación

Variación	VOLUMEN (mL)			PROMEDIO (mL)
Almidón (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
10,00	7,60	9,00	9,70	8,77
15,00	22,00	24,00	23,00	23,00
20,00	25,50	19,20	29,50	24,73
25,00	37,00	32,00	33,00	34,00
30,00	32,00	37,00	41,50	36,83

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Densidad de los plásticos biodegradables al variar la proporción de almidón en su formulación**

Variación	DENSIDAD (g/mL)			PROMEDIO (g/mL)
Almidón (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
10,00	1,48	1,41	1,19	1,36
15,00	1,17	1,06	0,98	1,07
20,00	1,26	1,24	0,75	1,08
25,00	1,10	1,22	1,24	1,19
30,00	1,31	1,20	1,10	1,20

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Masa de los plásticos biodegradables al variar la proporción de ácido acético en su formulación**

Variación	MASA (g)			PROMEDIO (g)
CH ₃ COOH (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	21,13	23,02	22,24	22,13
10,00	20,90	22,87	24,46	22,74
15,00	25,44	26,37	25,35	25,72
20,00	30,91	32,65	32,81	32,12
25,00	38,61	48,97	38,83	42,14

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Volúmenes que ocupan los plásticos biodegradables al variar la proporción de ácido acético en su formulación**

Variación	VOLUMEN (mL)			PROMEDIO (mL)
CH ₃ COOH (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	21,80	23,00	21,50	22,10
10,00	24,50	23,50	22,50	23,50
15,00	21,00	22,00	19,00	20,67
20,00	30,00	30,00	33,00	31,00
25,00	36,00	44,00	30,00	36,67

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Densidad de los plásticos biodegradables al variar la proporción de ácido acético en su formulación**

Variación	DENSIDAD (g/mL)			PROMEDIO (g/mL)
CH ₃ COOH (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	0,97	1,00	1,03	1,00
10,00	0,85	0,97	1,09	0,97
15,00	1,21	1,20	1,33	1,25
20,00	1,03	1,09	0,99	1,04
25,00	1,07	1,11	1,29	1,16

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Masa de los plásticos biodegradables al variar la proporción de glicerina en su formulación**

Variación	MASA (g)			PROMEDIO (g)
Glicerina (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	31,20	32,54	33,68	32,47
10,00	29,04	28,75	27,73	28,51
15,00	37,45	40,57	46,51	41,51
20,00	44,35	47,04	44,09	45,16
25,00	53,21	51,63	55,48	53,44

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Volúmenes que ocupan los plásticos biodegradables al variar la proporción de glicerina en su formulación**

Variación	VOLUMEN (mL)			PROMEDIO (mL)
Glicerina (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	30,50	33,20	31,50	31,73
10,00	24,40	27,00	24,00	25,13
15,00	35,00	38,00	43,00	38,67
20,00	40,50	42,50	40,00	41,00
25,00	42,00	46,50	47,00	45,17

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Densidad de los plásticos biodegradables al variar la proporción de glicerina en su formulación**

Variación	DENSIDAD (g/mL)			PROMEDIO (g/mL)
Glicerina (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	1,02	0,98	1,07	1,02
10,00	1,19	1,06	1,16	1,14
15,00	1,07	1,07	1,08	1,07
20,00	1,10	1,11	1,10	1,10
25,00	1,27	1,11	1,18	1,19

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Masa de los plásticos biodegradables, con variación de almidón en la formulación, antes de ser sometidos a degradación con ácido sulfúrico al 5 %**

Variación	MASA INICIAL (g)			PROMEDIO (g)
Almidón (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
10,00	11,10	12,30	11,44	11,61
15,00	22,35	21,99	20,17	21,50
20,00	27,74	21,82	20,42	23,33
25,00	34,12	33,05	34,68	33,95
30,00	36,54	38,48	40,29	38,44

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Masa de los plásticos biodegradables, con variación de almidón en la formulación, después de ser sometidos a degradación con ácido sulfúrico al 5 %**

Variación	MASA FINAL (g)			PROMEDIO (g)
Almidón (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
10,00	9,47	10,91	10,60	10,33
15,00	20,36	19,96	18,34	19,55
20,00	25,40	20,27	18,83	21,50
25,00	32,71	31,60	32,94	32,42
30,00	35,97	37,42	39,14	37,51

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Porcentaje de degradabilidad de los plásticos con variación de almidón en su formulación**

Variación	PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD			PROMEDIO (%)
Almidón (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
10,00	14,68	11,30	7,34	11,11
15,00	8,90	9,23	9,07	9,07
20,00	8,44	7,10	7,79	7,78
25,00	4,13	4,39	5,02	4,51
30,00	1,56	2,75	2,85	2,39

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Masa de los plásticos biodegradables, con variación de ácido acético en la formulación, antes de ser sometidos a degradación con ácido sulfúrico al 5 %**

Variación	MASA INICIAL (g)			PROMEDIO (g)
CH ₃ COOH (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	14,92	16,16	16,20	15,76
10,00	17,42	18,20	18,99	18,20
15,00	18,06	18,73	18,12	18,30
20,00	20,50	21,96	22,64	21,70
25,00	27,72	36,84	26,23	30,26

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Masa de los plásticos biodegradables, con variación de almidón en la formulación, después de ser sometidos a degradación con ácido sulfúrico al 5 %**

Variación	MASA FINAL (g)			PROMEDIO (g)
CH ₃ COOH (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	13,98	13,24	13,84	13,69
10,00	14,04	15,50	15,50	15,01
15,00	12,80	15,43	17,45	15,23
20,00	13,38	14,90	12,82	13,70
25,00	15,10	15,62	14,22	14,98

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Porcentaje de degradabilidad de los plásticos con variación de almidón en su formulación**

Variación	PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD			PROMEDIO (%)
CH ₃ COOH (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	6,30	18,07	14,57	12,98
10,00	19,40	14,84	18,38	17,54
15,00	29,13	17,62	3,70	16,81
20,00	34,73	32,15	43,37	36,75
25,00	45,53	57,60	45,79	49,64

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Masa de los plásticos biodegradables, con variación de glicerina en la formulación, antes de ser sometidos a degradación con ácido sulfúrico al 5 %**

Variación	MASA INICIAL (g)			PROMEDIO (g)
Glicerina (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	10,60	10,91	9,47	10,33
10,00	18,83	24,13	20,27	21,08
15,00	24,40	29,05	25,84	26,43
20,00	44,85	34,14	35,97	38,32
25,00	51,07	48,79	48,91	49,59

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Masa de los plásticos biodegradables, con variación de almidón en la formulación, después de ser sometidos a degradación con ácido sulfúrico al 5 %**

Variación	MASA FINAL (g)			PROMEDIO (g)
Glicerina (mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	9,30	9,53	8,47	9,10
10,00	17,74	17,7	19,62	18,35
15,00	22,18	24,41	29,25	25,28
20,00	29,60	28,94	32,55	30,36
25,00	0,00	0,00	0,00	0,00

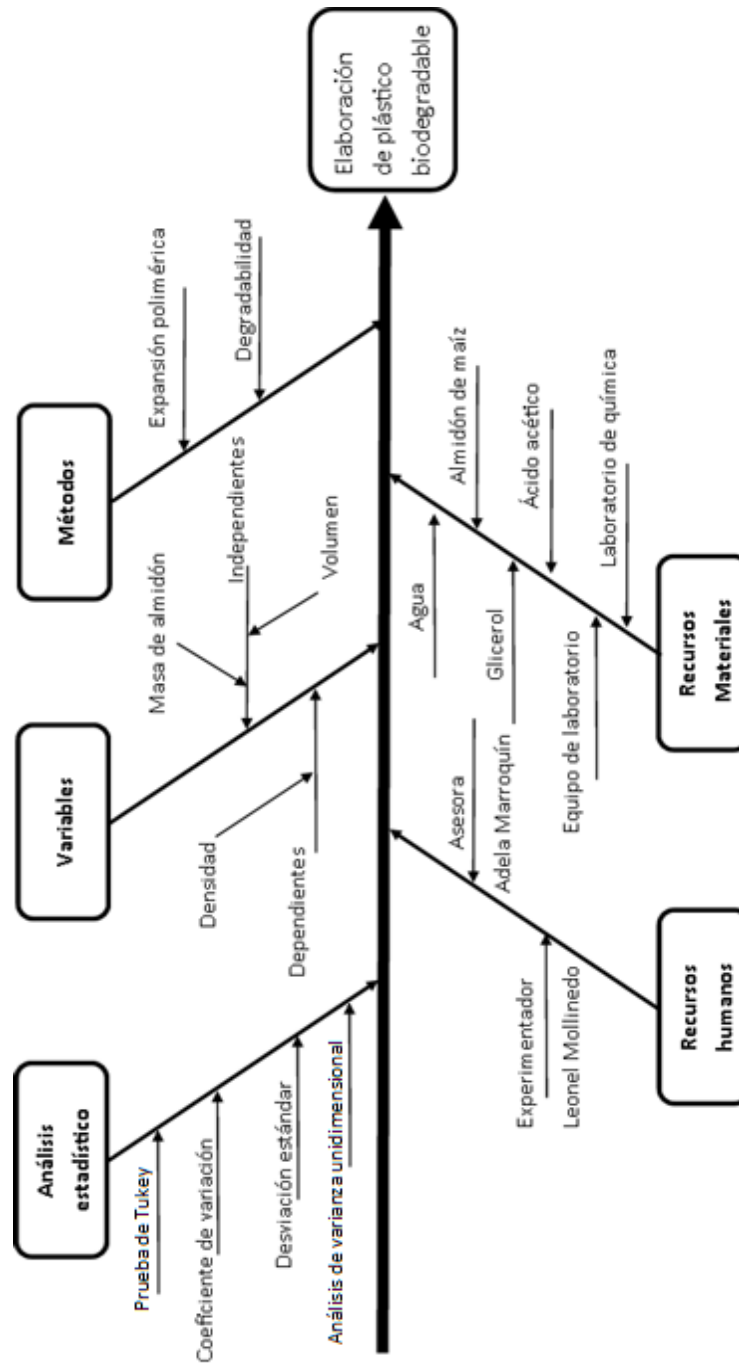
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Porcentaje de degradabilidad de los plásticos con variación de almidón en la formulación**

Variación	PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD			PROMEDIO (%)
Glicerina (g)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
5,00	6,30	18,07	14,57	12,98
10,00	19,40	14,84	18,38	17,54
15,00	29,13	17,62	3,70	16,81
20,00	34,73	32,15	43,37	36,75
25,00	45,53	57,60	45,79	49,64

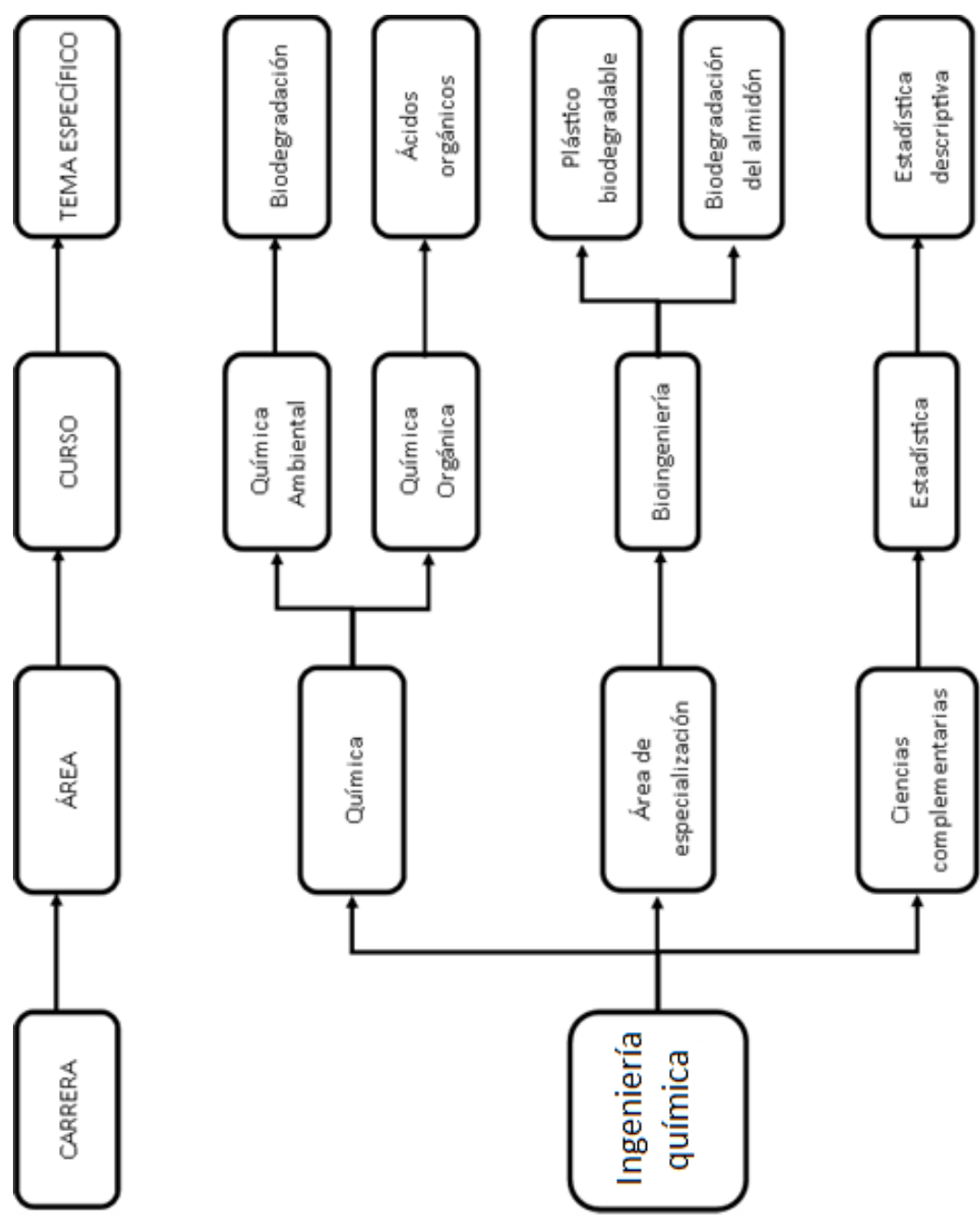
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Agitación y calentamiento de la mezcla**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Mezcla caliente del plástico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Plásticos de diferentes formulaciones**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Masa del plástico seco**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. **Volumen desplazado de una muestra de plástico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. **Plásticos sumergidos en solución de H_2SO_4 al 5 %**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Plásticos secos luego de la degradación**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Selección de las muestra de plástico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Medición del peso de cada muestra**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Equipo de seguridad al realizar la experimentación**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. Análisis estadístico de densidad vs almidón

ANOVA unidireccional: Densidad vs. Almidón

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Almidón	5	10; 15; 20; 25; 30

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Almidón	4	0.1662	0.04155	1.59	0.252
Error	10	0.2621	0.02621		
Total	14	0.4283			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.161906	38.80%	14.32%	0.00%

Medias

Almidón	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
10	3	1.3607	0.1520	(1.1524; 1.5690)
15	3	1.0661	0.0947	(0.8578; 1.2744)
20	3	1.084	0.286	(0.876; 1.292)
25	3	1.1879	0.0800	(0.9796; 1.3961)
30	3	1.2011	0.1026	(0.9928; 1.4094)

Desv.Est. agrupada = 0.161906

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95

Almidón	N	Media	Agrupación
10	3	1.3607	A
30	3	1.2011	A
25	3	1.1879	A
20	3	1.084	A
15	3	1.0661	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
15 - 10	-0.295	0.132	(-0.729; 0.140)	-2.23	0.245
20 - 10	-0.277	0.132	(-0.712; 0.158)	-2.09	0.293
25 - 10	-0.173	0.132	(-0.608; 0.262)	-1.31	0.693
30 - 10	-0.160	0.132	(-0.594; 0.275)	-1.21	0.748
20 - 15	0.018	0.132	(-0.417; 0.452)	0.13	1.000
25 - 15	0.122	0.132	(-0.313; 0.556)	0.92	0.882
30 - 15	0.135	0.132	(-0.300; 0.570)	1.02	0.840
25 - 20	0.104	0.132	(-0.331; 0.539)	0.79	0.929
30 - 20	0.117	0.132	(-0.317; 0.552)	0.89	0.895
30 - 25	0.013	0.132	(-0.421; 0.448)	0.10	1.000

Nivel de confianza individual = 99.18%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. Análisis estadístico de degradabilidad vs almidón

ANOVA unidireccional: Degradabilidad vs. Almidón

Información del factor

Factor Niveles Valores
Almidón 5 10; 15; 20; 25; 30

Análisis de Variansa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Maicena	4	147.63	36.907	12.55	0.001
Error	10	29.40	2.940		
Total	14	177.03			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.71467	83.39%	76.75%	62.63%

Medias

Almidón	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
10	3	11.11	3.67	(8.90; 13.32)
15	3	9.0694	0.1639	(6.8636; 11.2752)
20	3	7.775	0.666	(5.569; 9.981)
25	3	4.512	0.455	(2.307; 6.718)
30	3	2.390	0.720	(0.184; 4.595)

Desv.Est. agrupada = 1.71467

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Almidón	N	Media	Agrupación
10	3	11.11	A
15	3	9.0694	A B
20	3	7.775	A B
25	3	4.512	B C
30	3	2.390	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
15 - 10	-2.04	1.40	(-6.64; 2.56)	-1.46	0.609
20 - 10	-3.33	1.40	(-7.94; 1.27)	-2.38	0.197
25 - 10	-6.60	1.40	(-11.20; -1.99)	-4.71	0.006
30 - 10	-8.72	1.40	(-13.32; -4.12)	-6.23	0.001
20 - 15	-1.29	1.40	(-5.90; 3.31)	-0.92	0.881
25 - 15	-4.56	1.40	(-9.16; 0.05)	-3.25	0.053
30 - 15	-6.68	1.40	(-11.28; -2.08)	-4.77	0.005
25 - 20	-3.26	1.40	(-7.87; 1.34)	-2.33	0.212
30 - 20	-5.39	1.40	(-9.99; -0.78)	-3.85	0.021
30 - 25	-2.12	1.40	(-6.73; 2.48)	-1.52	0.575

Nivel de confianza individual = 99.18%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. Análisis estadístico de densidad vs ácido acético

ANOVA unidireccional: Densidad vs. Ácido acético

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Ácido acético	5	5; 10; 15; 20; 25

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ácido acético	4	0.16316	0.040789	5.58	0.013
Error	10	0.07315	0.007315		
Total	14	0.23630			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0855261	69.05%	56.66%	30.35%

Medias

CH ₃ COOH	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
5	3	1.0015	0.0326	(0.8915; 1.1115)
10	3	0.9711	0.1170	(0.8611; 1.0811)
15	3	1.2481	0.0749	(1.1381; 1.3581)
20	3	1.0376	0.0475	(0.9276; 1.1477)
25	3	1.1599	0.1181	(1.0499; 1.2700)

Desv. Est. agrupada = 0.0855261

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CH ₃ COOH	N	Media	Agrupación
15	3	1.2481	A
25	3	1.1599	A B
20	3	1.0376	A B
5	3	1.0015	B
10	3	0.9711	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
10 - 5	-0.0304	0.0698	(-0.2600; 0.1992)	-0.44	0.991
15 - 5	0.2466	0.0698	(0.0170; 0.4762)	3.53	0.034
20 - 5	0.0361	0.0698	(-0.1935; 0.2657)	0.52	0.984
25 - 5	0.1584	0.0698	(-0.0712; 0.3880)	2.27	0.232
15 - 10	0.2770	0.0698	(0.0474; 0.5066)	3.97	0.018
20 - 10	0.0665	0.0698	(-0.1631; 0.2961)	0.95	0.870
25 - 10	0.1888	0.0698	(-0.0408; 0.4184)	2.70	0.123
20 - 15	-0.2105	0.0698	(-0.4401; 0.0192)	-3.01	0.077
25 - 15	-0.0882	0.0698	(-0.3178; 0.1414)	-1.26	0.718
25 - 20	0.1223	0.0698	(-0.1073; 0.3519)	1.75	0.448

Nivel de confianza individual = 99.18%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 34. Análisis estadístico de degradabilidad vs ácido acético

ANOVA unidireccional: Degradabilidad vs. Ácido acético

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Ácido acético	5	5; 10; 15; 20; 25

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ácido acético	4	2991.3	747.84	13.05	0.001
Error	10	573.0	57.30		
Total	14	3564.4			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
7.56993	83.92%	77.49%	63.83%

Medias

CH ₃ COOH	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	12.98	6.04	(3.24; 22.72)
10	3	17.54	2.40	(7.80; 27.28)
15	3	16.81	12.73	(7.08; 26.55)
20	3	36.75	5.88	(27.01; 46.49)
25	3	49.64	6.90	(39.90; 59.38)

Desv.Est. agrupada = 7.56993

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CH ₃ COOH	N	Media	Agrupación
25	3	49.64	A
20	3	36.75	A B
10	3	17.54	B C
15	3	16.81	B C
5	3	12.98	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
10 - 5	4.56	6.18	(-15.76; 24.88)	0.74	0.942
15 - 5	3.83	6.18	(-16.49; 24.16)	0.62	0.968
20 - 5	23.77	6.18	(3.45; 44.10)	3.85	0.021
25 - 5	36.66	6.18	(16.34; 56.98)	5.93	0.001
15 - 10	-0.72	6.18	(-21.05; 19.60)	-0.12	1.000
20 - 10	19.21	6.18	(-1.11; 39.54)	3.11	0.066
25 - 10	32.10	6.18	(11.78; 52.42)	5.19	0.003
20 - 15	19.94	6.18	(-0.38; 40.26)	3.23	0.055
25 - 15	32.82	6.18	(12.50; 53.15)	5.31	0.002
25 - 20	12.89	6.18	(-7.44; 33.21)	2.08	0.297

Nivel de confianza individual = 99.18%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 35. Análisis estadístico de densidad vs glicerina

ANOVA unidireccional: Densidad vs. Glicerina

Información del factor

Factor Niveles Valores
Glicerina 5 5; 10; 15; 20; 25

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Glicerina	4	0.04538	0.011346	4.57	0.023
Error	10	0.02483	0.002483		
Total	14	0.07022			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0498322	64.63%	50.49%	20.43%

Medias

Glicerina	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	1.0241	0.0446	(0.9600; 1.0882)
10	3	1.1368	0.0647	(1.0727; 1.2009)
15	3	1.07309	0.00749	(1.00898; 1.13719)
20	3	1.10138	0.00593	(1.03727; 1.16548)
25	3	1.1859	0.0784	(1.1218; 1.2500)

Desv.Est. agrupada = 0.0498322

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Glicerina	N	Media	Agrupación
25	3	1.1859	A
10	3	1.1368	A B
20	3	1.10138	A B
15	3	1.07309	A B
5	3	1.0241	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
10 - 5	0.1127	0.0407	(-0.0211; 0.2465)	2.77	0.111
15 - 5	0.0490	0.0407	(-0.0848; 0.1828)	1.20	0.750
20 - 5	0.0773	0.0407	(-0.0565; 0.2111)	1.90	0.376
25 - 5	0.1618	0.0407	(0.0280; 0.2956)	3.98	0.017
15 - 10	-0.0637	0.0407	(-0.1975; 0.0701)	-1.57	0.548
20 - 10	-0.0354	0.0407	(-0.1692; 0.0984)	-0.87	0.901
25 - 10	0.0491	0.0407	(-0.0847; 0.1829)	1.21	0.748
20 - 15	0.0283	0.0407	(-0.1055; 0.1621)	0.70	0.953
25 - 15	0.1128	0.0407	(-0.0210; 0.2466)	2.77	0.111
25 - 20	0.0845	0.0407	(-0.0493; 0.2183)	2.08	0.300

Nivel de confianza individual = 99.18%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 36. Análisis estadístico de degradabilidad vs glicerina

ANOVA unidireccional: Degradabilidad vs. Glicerina

Información del factor

Factor Niveles Valores
Glicerina 5 5; 10; 15; 20; 25

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Glicerina	4	19119	4779.7	42.06	0.000
Error	10	1136	113.6		
Total	14	20255			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
10.6600	94.39%	92.15%	87.38%

Medias

Glicerina	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	11.01	2.50	(-2.70; 24.73)
10	3	11.88	12.85	(-1.83; 25.59)
15	3	3.96	15.25	(-9.76; 17.67)
20	3	19.58	12.81	(5.87; 33.29)
25	3	100.0	0.0	(86.3; 113.7)

Desv.Est. agrupada = 10.6600

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Glicerina	N	Media	Agrupación
25	3	100.0	A
20	3	19.58	B
10	3	11.88	B
5	3	11.01	B
15	3	3.96	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
10 - 5	0.87	8.70	(-27.75; 29.48)	0.10	1.000
15 - 5	-7.06	8.70	(-35.68; 21.56)	-0.81	0.921
20 - 5	8.57	8.70	(-20.05; 37.18)	0.98	0.857
25 - 5	88.99	8.70	(60.37; 117.60)	10.22	0.000
15 - 10	-7.92	8.70	(-36.54; 20.70)	-0.91	0.887
20 - 10	7.70	8.70	(-20.92; 36.32)	0.88	0.896
25 - 10	88.12	8.70	(59.50; 116.74)	10.12	0.000
20 - 15	15.62	8.70	(-13.00; 44.24)	1.79	0.426
25 - 15	96.04	8.70	(67.42; 124.66)	11.03	0.000
25 - 20	80.42	8.70	(51.80; 109.04)	9.24	0.000

Nivel de confianza individual = 99.18%

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Fichas internacionales de seguridad química del ácido acético

ÁCIDO ACÉTICO			ICSC: 0363 Mayo 2010	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	64-19-7 AF1225000 2789 607-002-00-6 200-580-7	Ácido acético glacial Ácido etanoico Ácido etílico Ácido metanocarboxílico C ₂ H ₄ O ₂ / CH ₃ COOH Masa molecular: 60,1		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS	
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada o dióxido de carbono.	
EXPLOSIÓN	Por encima de 39°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Por encima de 39°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!	
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vértigo. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Proporcionar asistencia médica.	
Piel	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.	
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.	
Ingestión	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.	
DERRAMES Y FUGAS			ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.			No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 10-35 S: (1/2-)/23-26-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquidos y vapores inflamables. Nocivo si se inhala el vapor. Nocivo en contacto con la piel. Puede ser nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria. Provoca daños en el sistema respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala. Nocivo para los organismos acuáticos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA			ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F2; R0			A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar bien ventilado. Bien cerrado. Almacenar en el recipiente original. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010				
 				

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Continuación del anexo 1.

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro de olor acre.		VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves
PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca a algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos.		RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL (ACGIH 2010). LEP UE: 10 ppm; 25 mg/m³ como TWA (EU 1991).		EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.
		EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados tras exposiciones prolongadas o repetidas a un aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión de los dientes tras exposiciones prolongadas o repetidas al aerosol de esta sustancia.
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16.7°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible. Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1		Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 39°C c.c. Temperatura de autoignición: 485°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.17
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El n° NU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacial o un disolución de ácido acético con más del 80 % de ácido en peso. Otro n° NU: NU 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80% de ácido acético en peso); clasificación de peligro NU 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 10 ppm; 25 mg/m³ VLA-EC: 15 ppm, 37 mg/m³		
NOTA LEGAL Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2010		

Fuente: ficha internacional de seguridad química del ácido acético.

<http://sct.uab.cat/l-amb-controlat/sites/sct.uab.cat.l-amb-controlat/files/CH3COOH.pdf>.

Consulta: 9 de junio de 2017.

Anexo 2. Fichas internacionales de seguridad química del ácido sulfúrico

ÁCIDO SULFÚRICO			ICSC: 0362 Febrero 2000
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	7664-93-9 WS5600000 1830 016-020-00-8 231-639-5	Ácido sulfúrico 100% Aceite de vitriolo H ₂ SO ₄ Masa molecular: 98.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Consultar a un experto. ¡Evacuar la zona de peligro! NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2)-26-30-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1830 o 80GC1-II+III Código NFPA: H3; F0; R2; W		Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.	

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety





Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Continuación del anexo 2.

ÁCIDO SULFÚRICO		ICSC: 0362
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido higroscópico incoloro, aceitoso e inodoro. PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentarse forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre). LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0,2 mg/m³, Fracción torácica, A2 (sospecho de ser cancerígeno humano); ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes (ACGIH 2005). MAK: (Fracción inhalable) 0,1 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(1); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).		VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión. RIESGO DE INHALACIÓN La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización. EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas). EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son carcinógenas para los seres humanos.
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1,8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0,13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,4		
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirlo al agua siempre lentamente. Otros números NU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico agotado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver Límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2014): VLA-ED (niebla): 0,05 mg/m³ Notas: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida. Véase UNE EN 481: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".		
NOTA LEGAL Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2005		

Fuente: ficha internacional de seguridad química del ácido sulfúrico.
insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/
301a400/nsprn0362.pdf. Consulta: 9 de junio de 2017.

Anexo 3. Fichas internacionales de seguridad química del almidón

ALMIDÓN		ICSC: 1553
		Octubre 2004
Amilum		
CAS:	9005-25-8	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
RTECS:	GM5090000	
CE / EINECS:	232-679-6	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, pulverización con agua, espuma, dióxido de carbono,
EXPLOSIÓN	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar el depósito del polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel		Guantes protectores.	Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos		Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Protección personal adicional: respirador de filtro P1 contra partículas inertes.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO

IPCS
International
Programme on
Chemical
Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Continuación del anexo 3.

ALMIDÓN		ICSC: 1553
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Polvo blanco.	RIESGO DE INHALACIÓN: Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.	
PELIGROS FÍSICOS: Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 10 mg/m³ como TWA; A4; (ACGIH 2004). MAK no establecido.		
PROPIEDADES FÍSICAS		
Se descompone por debajo del punto de fusión. Densidad: 1,5 g/cm³ Solubilidad en agua: ninguna	Temperatura de autoignición: 410 °C	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El almidón se encuentra en muchas plantas, incluyendo maíz, tapioca, trigo, arroz, cebada, avena, mijo, lentejas, patatas y otros cereales. Muchos almidones están compuestos de un 22% a un 26% de amilosa y de un 74 a un 78% de amilopectina.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2008): LEP: 10 mg/m³ (VLA-ED).		
Nota legal		
Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2005		

Fuente: ficha internacional de seguridad química del almidón.

<http://www.insumos-labcentral.unlu.edu.ar/sites/www.insumos-labcentral.unlu.edu.ar/files/site/Almid%C3%B3n%20Soluble.pdf>. Consulta: 9 de junio de 2017.

Anexo 4. Fichas internacionales de seguridad química de la glicerina

GLICEROL		ICSC: 0624
		Abril 2006
Glicerina 1,2,3-Propanotriol 1,2,3-Trihidroxipropano		
CAS:	56-81-5	$C_3H_8O_3$ / $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$
RTECS:	MA8050000	Masa molecular: 92,1
CE / EINECS:	200-289-5	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas.	Agua pulverizada. Espuma resistente al alcohol. Polvo. Dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos		Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Diarrea.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H1; F1; R0;	Separado de oxidantes fuertes.

IPCS International Programme on Chemical Safety	   	 
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2006		

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Continuación del anexo 4.

GLICEROL		ICSC: 0624
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido viscoso, higroscópico e incoloro.		RIESGO DE INHALACIÓN: La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por pulverización.
PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos corrosivos de acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión.		
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: niebla 10 mg/m ³ como TWA; (ACGIH 2005). MAK: 50 mg/m ³ (fracción inhalable); Categoría de limitación de pico: I(2); Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2006).		
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 290 °C Punto de fusión: 18 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,26 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, Pa a 25 °C: 0,01 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,2		Punto de inflamación: 176 °C c.c. Temperatura de autoignición: 393 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2,6 - 11,3 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -1,76
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en agosto de 2007: ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: niebla 10 mg/m ³		
Nota legal Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2006		

Fuente: ficha internacional de seguridad química de la glicerina.
insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/
601a700/nspn0624.pdf. Consulta: 9 de junio de 2017.