



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISÍACA*)**

Ing. Edgar Josué Pérez Espinoza

Asesorado por el M.Sc. Luis Rodolfo Castro García

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA*)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. EDGAR JOSUÉ PÉREZ ESPINOZA

ASESORADO POR EL M.SC. LUIS RODOLFO CASTRO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Dario Alvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. César Ariel Villela Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISÍACA*)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, con fecha 09 de febrero de 2021.

Ing. Edgar Josué Pérez Espinoza

LNG.DECANATO.OI.334.2022

La Decana 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA)**, presentado por: **Edgar Josué Pérez Espinoza**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, mayo de 2022

LNG.EEP.OI.334.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA)”

presentado por **Edgar Josué Pérez Espinoza** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 12 de octubre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIÁCA)”** presentado por el Ingeniero **Edgar Josué Pérez Espinoza** quien se identifica con carné **202090292**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 07 octubre 2021.

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Edgar Josué Pérez Espinoza, Carné número 202090292, cuyo título es "**ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA)**", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Pérez Espinoza, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,


Ing. Luis Rodolfo Castro García.
M.Sc. en Ingeniería Sanitaria
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su infinita gracia, misericordia y amor. Por darme la fortaleza y sabiduría para culminar esta meta.
- Mis padres** Edgar Leonel Pérez Chavarría y Maritza Espinoza Flores. Por su infinito amor, confianza y apoyo para alcanzar esta meta. Por haberme dado la oportunidad de ser alguien mejor en la vida y enseñarme a luchar por mis ideales. Los amo.
- Mi hermana** Josselin Maritza Pérez Espinoza. Por su compañía y apoyo en todo momento. Te quiero.
- Mis abuelos** María Enma Chavarría de Pérez (q.e.p.d), Victoriano Pérez y Pérez (q.e.p.d), Rodimiro Espinoza Donado (q.e.p.d) quienes desde el cielo celebran con nosotros. Jesús del Carmen Ramírez. Por ser un gran ejemplo y apoyo en mi vida. Los amo.
- Mi tío** Héctor Avilio Espinoza Ramírez, por siempre estar presente en mi vida y ayudarme cuando más lo necesito. Lo quiero.

Mi amor

Gislinda Anabella Cifuentes Cabrera, por todo tu amor y apoyo que me ayuda a seguir adelante. Te amo.

Mis amigos

Javier Alejandro Portillo Nelson, Danil Alejandro Florian Duran y Jefferson Benedit Capriel Coloch, quienes han estado en los buenos y malos momentos. Gracias por todo su cariño, complicidad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me brindó los estudios y conocimientos para formarme como un profesional.
Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos necesarios para culminar con la maestría.
Mi asesor	Mtro. Luis Rodolfo Castro García, por su orientación, paciencia y asesoría para culminar con mi proyecto de tesis.
Mi catedrático	Mtro. José Antonio Rosal Chicas, por su constante dedicación a la revisión de este informe.
Laboratorio de Química, Escuela de Ingeniería Química	Por darme su apoyo y brindarme sus instalaciones para realizar la parte experimental de este proyecto de tesis.
Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería	Por aportarme su asesoría técnica e instalaciones para realizar la parte experimental de este proyecto de tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes de la investigación.....	1
1.2. Plátano (<i>Musa Paradisiaca</i>).....	6
1.2.1. Origen	7
1.2.2. Composición de la cáscara	8
1.2.3. Usos de la cáscara	9
1.3. Polímeros	10
1.3.1. Definición	10
1.3.2. Clasificación.....	11
1.3.2.1. Según su origen	11
1.3.2.2. Según su estructura molecular	12
1.3.2.3. Según sus reacciones de formación.....	13
1.3.2.4. Según la composición química de su cadena principal	13
1.3.2.5. Según sus propiedades físicas.....	14
1.3.2.6. Según su uso	15

1.3.3.	Propiedades	15
1.3.3.1.	Propiedades mecánicas.....	16
1.3.3.2.	Propiedades físicas	16
1.3.3.3.	Propiedades eléctricas.....	16
1.4.	Plásticos.....	16
1.4.1.	Definición.....	17
1.4.2.	Clasificación	17
1.4.2.1.	Según su naturaleza	17
1.4.2.2.	Según su estructura interna	18
1.4.3.	Propiedades	19
1.4.3.1.	Propiedades físicas	19
1.4.3.2.	Propiedades mecánicas.....	20
1.4.3.3.	Propiedades eléctricas.....	24
1.4.3.4.	Propiedades magnéticas	25
1.4.3.5.	Propiedades ópticas	25
1.4.3.6.	Propiedades estéticas.....	26
1.4.4.	Aditivos básicos.....	26
1.4.4.1.	Plastificantes	26
1.4.4.2.	Estabilizadores	27
1.4.4.3.	Pigmentos.....	27
1.4.4.4.	Sustancias ignífugas.....	27
1.4.4.5.	Sustancias antiestáticas	27
1.4.4.6.	Reforzantes	28
1.4.5.	Usos	28
1.4.6.	Industria del plástico en Guatemala.....	28
1.4.7.	Comercialización de plásticos en Guatemala	29
1.4.8.	Problemática ambiental del plástico en Guatemala.....	30
1.5.	Bioplásticos	32

1.5.1.	Definición	33
1.5.2.	Clasificación.....	33
1.5.2.1.	Origen fósil.....	33
1.5.2.2.	Origen biológico	33
1.5.3.	El almidón como materia prima de bioplásticos.....	34
1.5.4.	Aplicaciones.....	37
1.5.5.	Degradabilidad.....	38
1.5.6.	Mecanismos de degradabilidad.....	38
1.5.6.1.	Biodegradabilidad	38
1.5.6.2.	Compostabilidad	38
1.5.6.3.	Erodabilidad	39
1.5.6.4.	Hidrobiodegradación y fotobiodegradación.....	39
1.6.	Transferencia de calor por convección	39
1.6.1.	Definición	39
1.6.2.	Convección forzada	40
2.	SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	41
2.1.	Reconocimiento y selección del plátano (<i>Musa paradisíaca</i>)...	41
2.2.	Recolección de reactivos	42
3.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	45
3.1.	Equipos y utensilios	45
3.2.	Formulaciones para la elaboración de los platos desechables de plástico biodegradable	48
3.2.1.	Experimentación fase 1.....	48
3.2.2.	Experimentación fase 2.....	49
3.3.	Procedimiento para el proceso de extracción del almidón de la cáscara de plátano (<i>Musa paradisíaca</i>)	50

3.4.	Procedimiento para la conversión del almidón en platos desechables de plástico biodegradable.....	54
3.5.	Evaluación de la degradación de los platos desechables	55
4.	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE.....	57
4.1.	Evaluación de resistencia a la tracción del material según normativa ASTM D 638-03	57
4.2.	Evaluación de la dureza según norma ASTM D 2240-15	59
5.	FACTIBILIDAD DEL PRODUCTO EN COMPARACIÓN CON OTROS CONVENCIONALES	63
5.1.	Factibilidad ambiental.....	63
5.2.	Factibilidad económica.....	64
6.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	67
6.1.	Elaboración de los platos desechables de plástico biodegradable	67
6.1.1.	Experimentación fase 1	67
6.1.2.	Experimentación fase 2	69
6.2.	Propiedades mecánicas del plástico biodegradable	71
6.2.1.	Resistencia a la tracción del plástico biodegradable obtenido	71
6.2.2.	Dureza del plástico biodegradable obtenido	72
6.3.	Factibilidad ambiental y económica del producto obtenido.....	72
6.3.1.	Factibilidad ambiental.....	73
6.3.2.	Factibilidad económica	74
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75

CONCLUSIONES79
RECOMENDACIONES.....81
REFERENCIAS83
APÉNDICES.....91
ANEXO.....97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Plástico biodegradable de almidón de maíz (<i>Zea mays</i>).	2
2.	Medida del espesor de una lámina de plástico biodegradable.....	3
3.	Plástico biodegradable basado en cáscara de plátano.....	4
4.	Crecimiento microbiano sobre el bioplástico.	5
5.	Lámina de almidón de yuca, almidón de banano verde y sábila en gel..	6
6.	Ensayo de dureza.	21
7.	Escala de dureza Shore.	21
8.	Representación gráfica del ensayo a la tracción.	22
9.	Probeta para ensayos de tracción según norma ASTM D 638-03.	23
10.	Durómetro tipo A.	24
11.	Comercio de Guatemala de materiales plásticos y sus manufacturas ..	30
12.	Clasificación de bioplásticos.....	34
13.	Conformación de la amilopectina.	35
14.	Conformación de la amilosa.	36
15.	Plátano (<i>Musa paradisíaca</i>) en estado 1 de maduración.....	41
16.	Reposo de tira de almidón en ácido ascórbico al 99%.	50
17.	Proceso de secado de las tiras en horno de convección.	51
18.	Proceso de granulado mecánico.	52
19.	Polvo de almidón homogéneo.	53
20.	Proceso de mezclado.....	54
21.	Proceso de formado utilizando un horno de convección.....	55
22.	Moldes para probetas tipo III según norma ASTM D 638-03.	57
23.	Probetas tipo III según norma ASTM D 638-03.	58

24.	Prensa artesanal de ensayos.	58
25.	Moldes para muestras de dureza.....	59
26.	Muestras para realizar el ensayo de dureza de Shore.	60
27.	Ensayo de dureza de Shore A.	60
28.	Estructuración de la Formulación 1 (Fase 1).....	67
29.	Estructuración de la Formulación 2 (Fase 1).....	68
30.	Estructuración de la Formulación 3 (Fase 1).....	68
31.	Estructuración de la Formulación 1 (Fase 2).....	70
32.	Estructuración de la Formulación 2 (Fase 2).....	70
33.	Estructuración de la Formulación 3 (Fase 2).....	71
34.	Degradación del plato desechable a los 40 días.....	73
35.	Degradación del plato desechable a los 60 días.....	73
36.	Degradación del plato desechable a los 80 días.....	74

TABLAS

I.	Composición aproximada de la cáscara de plátano.	8
II.	Composición de almidón, azúcares y sacarosa en estados del plátano.	9
III.	Medidas de las probetas Tipo III según norma ASTM D 638-03.	23
IV.	Reactivos.....	42
V.	Equipos y utensilios.	45
VI.	Conformación de formulaciones de la experimentación fase 1.	49
VII.	Conformación de las formulaciones de la experimentación fase 2.....	49
VIII.	Costos unitarios de productos similares al obtenido.	65
IX.	Resultados de la experimentación fase 1.	69
X.	Resultados de resistencia a la tracción del plástico biodegradable.	72
XI.	Resultados de la dureza del plástico biodegradable.	72
XII.	Estimación del costo unitario.	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm²	Centímetro cuadrado
σ	Esfuerzo
°C	Grados Celsius
g	Gramo
h	Horas
kg	Kilogramo
lb	Libras
ml	Mililitro
% deshidratación	Porcentaje de deshidratación
“	Pulgadas

GLOSARIO

Ácido acético	También denominado ácido etanóico o ácido metano carboxílico, es un compuesto orgánico líquido incoloro con un olor acre y un sabor claramente agrio.
Ácido ascórbico	Es un cristal incoloro, inodoro, sólido, soluble en agua, con un sabor ácido. Es un ácido orgánico, con propiedades antioxidantes.
Agua destilada	Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El componente líquido ha sido sometido a un proceso de destilación en el que se han eliminado las impurezas e iones del agua de origen.
Almidón	Macromolécula que está compuesta por dos polímeros distintos de glucosa, la amilosa (en proporción del 25 %) y la amilopectina (75 %).
Biodegradable	Que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales.
Convección forzada	La convección describe el efecto del calor de los fluidos o gases en movimiento sobre un objeto sólido. En la convección forzada, el flujo del fluido o gas se mejora o se crea artificialmente.

Dureza	Propiedad mecánica que mide la resistencia que un material ofrece cuando intenta ser deformado plásticamente.
Durómetro	Un durómetro es un aparato que mide la dureza de los materiales, existiendo varios procedimientos para efectuar esta medición. Los más utilizados son los de Rockwell, Brinell, Vickers y Microvickers.
Endocarpio	Finas y delgadas películas de la capa interior entre la cáscara y la pulpa del plátano, en las que se concentra el almidón que caracteriza esta fruta.
Glicerina	Es un alcohol con tres grupos hidroxilo que le permiten ser soluble en agua. Le proporciona al bioplástico un aspecto morfológico suave y uniforme.
Polímero	Sustancia compuesta por moléculas de cadena larga en la que se repite una unidad estructural básica.
Tracción	Un elemento trabaja a tracción, o está sometido a un esfuerzo de tracción cuando fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios tienden a estirarlo.

RESUMEN

Se realizó un proceso experimental a nivel laboratorio, para la elaboración de platos desechables de plástico biodegradable, a partir del almidón extraído de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). Se planteó extraer el almidón del endocarpio por medio del proceso de deshidratación. Este almidón se convirtió en la materia prima principal para elaborar platos desechables de bioplástico. Se evaluó las propiedades mecánicas de los platos, el tiempo de degradación y se determinó su costo unitario.

Se llevó a cabo una selección y recolección de la materia prima. El plátano verde en estado 1 de maduración posee el 61.7 % de almidón en su cáscara, por lo que se compró este fruto y se seleccionó los de mayor tamaño y verdor. Además, se adquirió los reactivos que sirven para los procesos de extracción del almidón y conversión del mismo a biopolímero, como el ácido ascórbico al 99 %, ácido acético al 95 %, glicerina al 99 % y fécula de yuca.

Para el procedimiento de elaboración de los platos desechables se realizó dos fases, en la primera se buscó la formulación óptima y en la segunda se hizo una evaluación sobre la influencia de la fécula de yuca en las propiedades mecánicas (dureza y resistencia). La resistencia se ensayó de acuerdo a la norma ASTM D 638-03. Se utilizó probetas sometidas a esfuerzo para registrar la tensión máxima. La dureza se ensayó de acuerdo a la norma ASTM D 2240-15, se utilizó un durómetro para obtener un resultado según la escala de dureza de Shore A.

Se evaluó las factibilidades ambientales y económicas del producto obtenido, con base en criterios de gestión de residuos, degradabilidad y la comparación de su costo unitario con otros existentes en el mercado.

Se logró fabricar platos con la consistencia mínima para ser utilizados y que permanecen durante algunos días, pues se evitó el uso de conservantes. Se consiguió durezas (Shore A) de entre 14 y 17, algo semejante a las obtenidas en gomas elásticas y resistencias promedio de 0.62 kg/cm^2 , lo cual demuestra que la fécula de yuca influye en la resistencia del material. Además, el material es capaz de resistir una carga promedio 0.52 kg (1.15 lb) antes de su ruptura. Como consecuencia, se afirma que la fécula de yuca incide en la resistencia del material, más no en la dureza de este.

Se concluye que se puede obtener un promedio de 23.74% de almidón de plátano por medio de deshidratación, con el uso de transferencia de calor por convección forzada. Con el uso del almidón, se fabricó platos desechables en combinación con fécula de yuca. Estos poseen la consistencia y rigidez mínimas para ser utilizados comercialmente. Su degradación tuvo una duración de 2 a 3 meses, y su costo unitario se calculó en Q.0.84. El costo anterior indica que el producto puede competir con los platos de plástico biodegradable compuesto con resinas bio-basadas. Por lo tanto, el producto es económica y ambientalmente factible.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el uso desmesurado del plástico derivado del petróleo ha generado acumulación de residuos sólidos y con ello se han contaminado el suelo y las fuentes hídricas. Por consiguiente, las técnicas para su disposición final, como la incineración y el depósito en rellenos sanitarios, no son ambientalmente sostenibles.

La falta de conciencia ambiental es una de las causas principales. La educación ambiental, conocimiento ecológico y valores hacia el medio ambiente son un pilar fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible en el país. Lo anterior no es posible debido a la poca implementación de programas de educación ambiental y mal uso de recursos por parte de la población en general.

Esto demuestra la escasez de nuevas ofertas al mercado para la sustitución del plástico derivado del petróleo, lo cual lleva a la necesidad de crear conciencia ambiental en el uso de recursos para poder introducir productos elaborados con materias primas biodegradables y ambientalmente sostenibles.

Las empresas, no contemplan las consecuencias en la disposición final de sus productos, ya que éstos tardan mucho tiempo en degradarse, ello también lleva a la carencia de leyes que regulen el uso del plástico no biodegradable, lo cual es un problema de políticas y administración pública en la mayor parte de los países latinoamericanos ya que no da la pauta a la creación de legislaciones en temas medioambientales y de control de uso de plásticos no biodegradables.

El principal problema del plástico, además de su largo proceso de degradación, es la utilización de energías no renovables para su elaboración. Esto genera daño medio ambiental como consecuencia de la emisión de gases nocivos (CO₂). Con ello aumenta el efecto invernadero, que año tras año genera problemas en la sostenibilidad ambiental elevando la temperatura del planeta.

El incremento en la fabricación de plásticos derivados del petróleo tiene como consecuencia la dispersión de plástico no biodegradable en el medio ambiente, esto tiende a colapsar rellenos sanitarios y drenajes, lo cual causa inundaciones en las ciudades donde es más común el consumo y adquisición de productos plásticos, por lo que se deteriora la calidad de vida de la población.

El proceso de reciclaje del plástico derivado del petróleo resulta ser demasiado complejo y costoso debido a que existe mucha diversidad. No todos los plásticos son reciclables y varios tipos de plástico deben reciclarse de manera específica, según sus aditivos, esto tiene como consecuencia el derroche de recursos, tanto de tiempo como monetarios.

Es evidente la falta de alternativas ambientalmente sustentables para sustituir al plástico derivado del petróleo, y ello, conlleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cómo elaborar platos desechables de plástico biodegradable a partir del almidón extraído de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cómo se extrae el almidón de la cáscara de plátano?

- ¿Cuál es el procedimiento para convertir el almidón en platos desechables?
- ¿Qué propiedades mecánicas se pueden evaluar para determinar la resistencia de los platos desechables?
- ¿Cuánto tiempo se necesita para delimitar la degradación del producto?
- ¿Cómo se determina la factibilidad del producto obtenido en comparación a otros convencionales?

OBJETIVOS

General

Realizar un proceso experimental a nivel laboratorio para la elaboración de platos desechables de plástico biodegradable, a partir del almidón extraído de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).

Específicos

- Extraer el almidón del endocarpio de la cáscara de plátano por medio del proceso de deshidratación.
- Establecer un procedimiento para convertir el almidón en platos desechables.
- Evaluar las propiedades mecánicas de los platos desechables obtenidos.
- Delimitar el tiempo de degradación del producto.
- Determinar la factibilidad del producto obtenido en comparación con otros convencionales.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo. En este se hizo una propuesta para la elaboración de platos desechables de plástico biodegradable a partir del almidón extraído de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), a través de un proceso experimental a nivel laboratorio.

Como materia prima, se seleccionó plátano verde debido a que posee 61.7 % de almidón en su cáscara, éste se obtuvo en el mercado. Los reactivos fueron comprados en una empresa especializada en productos químicos. La materia prima se trasladó al laboratorio de química en la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se realizó tres formulaciones para elaborar los prototipos de platos desechables, y así, evaluar la manera en que las cantidades de los mismos inciden en las características finales del plástico biodegradable e identificar la formulación óptima. Se varió la cantidad de polvo de almidón, fécula de yuca, ácido acético al 95 % y glicerina al 99 %; las demás materias primas se quedan constantes.

El proceso experimental comenzó con el retiro de la cáscara de 30 plátanos verdes; con un pelador de acero inoxidable se extrajo el endocarpio en capas finas, el cual es la parte interna de la cáscara. De esta manera se obtuvo el almidón.

Cada tira de almidón se reposó en una solución de ácido ascórbico al 99 % durante 15 minutos, posterior a ser retirado de la cáscara para evitar la oxidación del mismo. Seguidamente, se realizó el proceso de secado de las tiras en un horno de convección a una temperatura de 120°C durante 2 horas, con la finalidad de deshidratar el almidón por medio de transferencia de calor por convección forzada.

El almidón deshidratado se introdujo en un molino de maíz para obtener almidón en polvo. Debido a que se necesita una granulometría fina, el polvo obtenido continuó por un proceso de granulado manual en un mortero de cerámica. Posteriormente, se realizó un proceso de tamizado del polvo en un tamiz de 250 micras para homogenizar la granulometría del polvo.

El proceso de mezclado se realizó con el precalentamiento de agua destilada, dentro de un beaker de 200 ml, en un agitador magnético a una temperatura de 70°C. Posteriormente, se añadió el polvo de almidón homogéneo, glicerina al 99 %, ácido acético al 95 % y fécula de yuca. Se mezcla con una velocidad constante hasta que quede una mezcla homogénea. El producto final fue la masa de mezclado.

Por último, se realizó el proceso de formado vertiendo la masa de mezclado en un molde con la finalidad de convertirlo en un plato desechable. El proceso se realizó en un horno de convección a 60°C durante 24 horas.

Para evaluar las propiedades mecánicas del biopolímero se realizó ensayos de resistencia a la tracción, para determinar la tendencia de ruptura del material basado en la norma ASTM D 638-03. Se empleó una prensa artesanal de ensayos y se sometió a tracción probetas tipo III.

Así mismo, se realizó ensayos de dureza para determinar la rigidez del material basado en la norma ASTM D 2240-15.

Se empleó un durómetro tipo A y se sometió a prueba muestras circulares con superficie plana. El resultado se interpretó en la escala de dureza de Shore A y se realizó 3 corridas de cada formulación para ambos ensayos. Los mismos se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para determinar el tiempo de degradación, el plato se almacenó en una bolsa plástica cerrada y se sometió en la intemperie a temperatura ambiente. Por último, se evaluó cualitativamente su degradación a los 40, 60 y 80 días.

INTRODUCCIÓN

El plástico se ha transformado en uno de los componentes que representa 0.51 kilogramos diarios de residuos sólidos que un individuo produce en Guatemala, acorde a un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura y Recursos Naturales (MARN). En 2006, según los datos del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) se generó aproximadamente de 6 mil a 7 mil toneladas al día de residuos sólidos.

Se presenta una propuesta que se centra en la elaboración de un plástico biodegradable basado en productos naturales, como el almidón de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en combinación con la fécula de yuca, la cual es una vía factible para reducir la problemática de contaminación y su efecto negativo en los recursos naturales. Así mismo, se aporta a la creación de un plástico que no proviene de derivados del petróleo y su proceso productivo está basado en una síntesis sencilla con poca emisión de residuos.

De esta forma se aporta al mercado local una nueva oferta de platos desechables para la sustitución de los descartables basados en derivados del petróleo y se contribuye a la reducción del efecto invernadero generado por la emisión de gases nocivos (CO₂), los cuales se producen durante la utilización de energías no renovables y como consecuencia, lograr disminuir, en una parte, la dependencia del petróleo.

La metodología del estudio incluye una minuciosa selección y recolección de cáscara de plátano, posteriormente, se obtuvo los siguientes reactivos: ácido ascórbico al 99 % como agente antioxidante, agua destilada, ácido acético al

95 % y glicerina al 99 % como agente plastificante. Dentro de los equipos principales para la elaboración del experimento se utilizó, un horno de convección para la deshidratación y el secado del material, un molino para granular el almidón y moldes para el proceso de formado, lo que denota la sencillez y potencial de uso generalizado.

Para ello, se realizó dos fases de experimentación. Durante la experimentación fase 1, se elaboró tres formulaciones con la finalidad de determinar la formulación óptima para desarrollar el plato desechable. Se varió las cantidades de los reactivos y se estudió su incidencia en las características finales del plástico biodegradable. Se obtuvo que la fécula de yuca efectivamente influyó en la consistencia y rigidez del material.

En la experimentación fase 2, se elaboró tres formulaciones utilizando las cantidades establecidas para la formulación óptima. Se varió solamente la cantidad de fécula de yuca, con la finalidad de determinar la incidencia de esta en las propiedades mecánicas de los prototipos. La resistencia a la tracción se realizó con base en la norma ASTM D 638-03; se utilizó varias probetas de estudio y una prensa artesanal de ensayos, obteniendo que el material resiste en promedio cargas de una libra. Además, se observó que la fécula de yuca incide en la resistencia del material, y disminuye la tendencia a romperse.

Por último, se evaluó la dureza del material basado en la norma ASTM D 2240-15. Se utilizó un durómetro tipo A y la escala de dureza de Shore, y se obtuvo un material suave con dureza menor a una goma elástica, lo cual denota que la fécula de brinda resistencia más no dureza al producto.

En el capítulo 1, se presentan los principales antecedentes y el marco teórico que ha sido empleado como referencia para la presente investigación. En

el capítulo 2, se presenta el procedimiento de selección y recolección de materia prima. En el capítulo 3, se detallan los equipos y utensilios empleados durante el experimento, así como también la descripción del procedimiento para la extracción del almidón de la cáscara de plátano y el proceso para la conversión del mismo en platos desechables de plástico biodegradable.

En el capítulo 4, se muestra la realización de los ensayos de las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y dureza del material obtenido. En el capítulo 5, se evalúa la factibilidad tanto ambiental como económica del producto obtenido en comparación con otros convencionales. Los resultados de los aspectos antes mencionados se presentan y discuten en los capítulos 6 y 7.

Finalmente, se exponen las conclusiones del trabajo de investigación para dar respuesta a los objetivos del mismo y se proporcionan las recomendaciones consideradas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Los plásticos derivados del petróleo se han convertido en un problema para el medio ambiente debido a que se producen a gran escala a nivel mundial, además, cuando estos se desechan, necesitan de un largo período de tiempo para degradarse, por lo tanto, estos se acumulan en grandes cantidades en rellenos sanitarios, masas de agua, drenajes, etc. y, por ende, se ha investigado sobre otras alternativas que los puedan llegar a sustituir y los bioplásticos pueden ser una solución para mitigar este problema.

En Guatemala, Gálvez (2016) realizó su trabajo de graduación basado en la Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (*Zea mays*); en el mismo se propone emplear un agregado de 10 % almidón, 4 % de glicerina (plastificante) y 2 % de urea. Se varió la temperatura gradualmente en el rango de 80, 90 y 100 grados Celsius.

En la última parte del estudio, se ensayó la biodegradabilidad y se sometió las muestras al aire libre y agua por un intervalo de 30 días, en ambos casos se determinó la disminución de peso en las muestras. Como resultado, al agregar dos por ciento de urea a la muestra se consiguió alargar el período de deterioro del bioplástico, ya que su disminución de peso fue 24 % menor a la muestra sin urea, por lo que se creó un producto más competitivo.

Figura 1. **Plástico biodegradable de almidón de maíz (*Zea mays*)**



Fuente: Gálvez,(2016) *Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (Zea Mays)*, p. 59.

A continuación, se presentan algunos casos de estudio en otros países de Latinoamérica:

Guamán (2019) presentó su trabajo de graduación nombrado Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Riobamba, Ecuador, en la cual presentó una opción más para la realización de láminas de bioplástico basado en almidón de un tubérculo.

El mismo se extrajo por decantación natural y se obtuvo 582 gramos de almidón, con los cuales se manufacturó el polímero 1. Para comparar características se realizó un polímero 2 con 500 gramos de almidón comercial. La mezcla de ambos polímeros se realizó con el uso de 13.16 % de almidón, 3.95 % de glicerina, 78.95 % de agua destilada y 3.95 % de ácido acético (modificador químico). Se comparó las propiedades físicas del bioplástico de almidón extraído

(BAE) con el bioplástico de almidón comercial (BAC), se obtuvo similitudes entre ambas en espesor, BAE (0.118 mm) y BAC (0.122 mm); humedad, BAE (20.82 %) y BAC (21.33 %) y biodegradabilidad BAE (92.05 % de pérdida de peso en 30 días) y BAC (90.77 % de pérdida de peso en 30 días). Lo anterior, permite concluir que el almidón de papa es posible sustituto para el plástico comercial y, a la larga, un producto ambientalmente sustentable.

Figura 2. **Medida del espesor de una lámina de plástico biodegradable**



Fuente: Guamán, (2019) *Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial*, p. 66.

Castillo, Escobar, Fernández, Gutiérrez, Morcillo, Núñez y Peñaloza (2015), realizaron un proyecto de investigación cualitativo titulado Bioplástico a base de la cáscara de plátano, presentado en la Revista de Iniciación Científica (RIC) de la Universidad Tecnológica de Panamá, estudiantes de Ingeniería industrial desarrollaron un método simplificado para obtener el almidón de dicha fruta, con el uso de 15 kg de cáscara de plátano, 2 L de jugo de naranja agria para evitar la oxidación del almidón, 5 ml de glicerina como plastificante y lo modificaron con 5 ml de vinagre (ácido acético).

Se utilizó un horno de estufa con función de convección como instrumento de deshidratación, una molienda para la granulación del almidón y un tamiz para homogenizar el polvo. Con lo anterior, se obtuvo la idea general del procedimiento para la obtención del bioplástico, además de los instrumentos e insumos a utilizar para realizar exitosamente el estudio.

Figura 3. **Plástico biodegradable basado en cáscara de plátano**

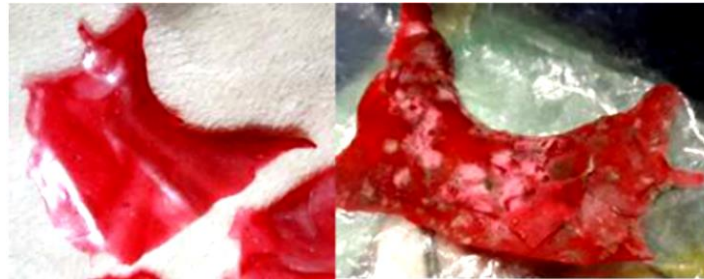


Fuente: Castillo, Escobar, Fernández, Gutiérrez, Morcillo, Núñez y Peñaloza, (2015), *Bioplástico a base de la cáscara de plátano*, p. 37.

En la revista y universidad anterior, Ruiloba, Li, Quintero y Correa (2018) realizaron un proyecto de investigación nombrado Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango, escrito por alumnos de Licenciatura en ingeniería de alimentos. El estudio se centró en el aislamiento del almidón presente en las semillas de mango verde mediante la deshidratación del mesocarpio del mango durante 16 horas a 50°C, luego se utilizó un molino para reducirlo en polvo, del cual se empleó 2 g para elaborar bioplástico por el método de casting; se adicionó 1 ml/g de almidón de glicerina como plastificante, 100 ml de H₂O y 1 ml/g de almidón de vinagre blanco, por último, se agregó colorante vegetal. Se agitó la mezcla continuamente mientras se calentó, se colocó sobre un vidrio de reloj engrasado con aceite vegetal y se dejó secar la muestra.

Esta se evaluó visualmente por crecimiento microbiano durante 2 meses. Como consecuencia, se produjo un gran número de proteínas en la muestra por lo que se determinó que el método elegido no logró disgregar de manera satisfactoria las proteínas en la semilla. Se sugirió cambiar de método para que el bioplástico cumpla con las características deseadas.

Figura 4. **Crecimiento microbiano sobre el bioplástico**



Fuente: Ruiloba, Li, Quintero y Correa, (2018), *Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango*, p.31.

En Perú, Zapata (2019) elaboró su trabajo de graduación nombrado Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con gel de sábila (*Aloe vera*), en la Escuela Profesional de Agroindustrial e Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería industrial.

El objetivo del estudio fue la obtención de láminas biodegradables mediante el “método de casting”. Se partió de combinaciones de almidón extraído de yuca junto con banano en estado verde de maduración, a concentraciones de tres y cuatro por ciento con quitosano al uno por ciento, como segundo polímero para optimizar sus propiedades físicas, en combinación con glicerina y sábila en gel, como antifúngico, a concentración de cinco por ciento. En dónde, se comparó los espesores y se concluyó que el valor en las películas quitosano - almidón

manufacturado con almidón concentrado a tres por ciento muestra un espesor $> 0.064 \mu\text{m}$ y $< 0.099 \mu\text{m}$, y el almidón concentrado a cuatro por ciento el espesor es $> 0.082 \mu\text{m}$ y $< 0.120 \mu\text{m}$.

Por lo que se concluye que el quitosano es importante en las láminas debido a que es capaz de agruparse con la familia de almidones, así como también, actúa como barrera, posee propiedades elásticas y es biodegradable.

Figura 5. **Lámina de almidón de yuca, almidón de banano verde y sábila en gel**



Fuente: Zapata, (2019), *Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con gel de sábila (*Aloe vera*)*, p. 96.

1.2. **Plátano (*Musa Paradisiaca*)**

El plátano (*Musa paradisiaca*) es una planta de tallo herbáceo nombrada por Carl Linneo en el año 1753, relativo a la familia *Musaceae*. Su pseudotallo mide de dos a cinco metros y puede alcanzar los ocho metros de altura, incluyendo las hojas.

Las flores son de color amarillo de tamaño irregular, las cuales forman un conjunto de frutos con forma de baya alargada sin semillas de color verde u amarillo según su estado de maduración. Estos están distribuidos en racimos y puede contener de treinta a setenta frutos con medidas de veinte a cuarenta centímetros de largo y de cuatro a siete centímetros de diámetro (Hernández y Vit, 2009, p.11).

El plátano (*Musa paradisiaca*), demanda un ambiente cálido con continua humedad en el aire y una temperatura promedio de 26 a 27°C con lluvias constantes. Las regiones idóneas para el cultivo de esta fruta regularmente son las llanuras húmedas contiguas al mar. Su crecimiento se interrumpe a temperaturas por debajo de 18°C, y se generan daños al mismo a temperaturas inferiores a 13°C y superiores a 45°C. (Monares, 2017)

Los suelos óptimos para su cultivo son aquellos que contienen una composición arenosa, arcillosa, arcillo limosa y limosa. De la misma manera, deben de ser fértiles, absorbentes, con profundidad de 1.2 a 1.5 metros, y abundantes en materias nitrogenadas. No obstante, es posible cultivarlo en suelos abundantes en potasio, arcillo-silíceos, calizos. (Monares, 2017)

1.2.1. Origen

El plátano tiene su origen en Asia Meridional, donde se dispersó en dirección sur y oeste hasta la isla de Hawaii y Polinesia. Se tiene conocimiento del mismo en el área mediterránea a partir del año 650. Durante el siglo XV, la especie arribó a las Islas Canarias; posteriormente, en el siglo XVI en 1516 fue llevado a América por colonizadores españoles. Sin embargo, las colonias portuguesas también lo introdujeron en el mismo siglo en Suramérica traído desde el occidente africano (Infoagro Systems, s.f.).

El plátano es considerado como un importante fruto tropical que se cultiva en mayor cantidad, en Latinoamérica y el Caribe, la cual produce la mayor parte de los plátanos que se comercializan internacionalmente, pese a que India y China son los principales productores, convirtiendo al plátano en el cultivo primario de las regiones tropicales del suroeste asiático. Hablando de importaciones, Europa, Estados Unidos, Japón y Canadá son los principales. El plátano forma parte de una esencial dieta diaria para la población de cientos de países del área tropical y subtropical (Infoagro Systems, s.f.).

1.2.2. Composición de la cáscara

Los componentes de la cáscara de plátano varían dependiendo de su estado de madurez. Cuando la cáscara es de color verde el almidón presente es de casi 90 %, mientras se acerca a su etapa de madurez este se transforma en azúcares (Poma, 2017, pág. 21).

Los componentes más importantes de la cáscara de plátano se detallan en la Tabla I.

Tabla I. **Composición aproximada de la cáscara de plátano**

Elementos de contenido	g/100 g de materia seca
Proteína	8.6 ± 0.1
Grasa	13.1 ± 0.2
Almidón	12.78 ± 0.9
Ceniza	15.25 ± 0.1
Fibra dietética total	50.25 ± 0.2

Fuente: Bilgin, (2014) *Going Bananas, using banana peels in the production of bio-plastic as a replacement of the traditional petroleum based plastic.*

Acorde a la Tabla I, la cantidad de almidón presente en la cáscara de plátano es de 12.78 %.

Según Tantaleán y Abanto (2019), el factor más importante a tomar en cuenta al momento de la extracción del almidón es el estado de maduración del plátano, debido a que mientras mayor madurez tenga el mismo, su contenido de almidón disminuye, como lo podemos observar en la Tabla II.

Tabla II. **Composición de almidón, azúcares y sacarosa en estados del plátano**

Estado	Color de la cáscara	Almidón (%)	Azúcar Reductor (%)	Sacarosa (%)
1	Verde	61.7	0.2	1.2
2	Verde con rastros de amarillo	42.4	10.8	18.4
3	Más verde que amarillo	39.8	11.5	21.4
4	Más amarillo que verde	37.6	12.4	27.9
5	Amarillo con un poco de verde	9.7	15.0	53.1
6	Todo amarillo	6.3	31.2	51.9
7	Amarillo con un poco de manchas marrón	3.3	33.8	52.0
8	Amarillo con muchas mancha marrones	2.6	33.6	53.2

Fuente: Tantaleán y Abanto, (2019) *Influencia del porcentaje en peso de Carboximetilcelulosa y CaCO₃ en la resistencia mecánica del biopolímero obtenido a base de almidón de cáscara de Musa paradisiaca (plátano)*, p. 6.

1.2.3. Usos de la cáscara

La mayor parte de los productos que provienen de cosechas no son 100 % consumidos y esto genera una cantidad considerable de subproductos, como

es el caso de las cáscaras de plátano. Su utilización y aprovechamiento es complicada, debido a la facilidad de descomposición bacteriana de la misma.

Por el contrario, varios autores afirman que los subproductos se pueden utilizar como una fuente barata de recursos para la producción de biotecnología, obtención de alcohol, bebidas, jaleas, polvo, harinas, almidón y productos basados en deshidratación por ósmosis en industrias productoras de lácteos. Esto favorece al aprovechamiento de la cáscara de plátano y a la minimización de grandes cantidades de residuos sólidos. (Poma, 2017)

1.3. Polímeros

Estos consisten en moléculas orgánicas de gran valor, tanto en el ámbito natural como en la industria. En ellas, se incluye el ADN que conforma las células, almidón de las plantas y la mayor parte de los plásticos manufacturados en el planeta.

1.3.1. Definición

La etimología de la palabra polímero se origina del griego *Polys* (muchos) y *meros* (partes). Un polímero es una combinación química, de origen natural o sintético, conformada por cadenas alargadas de uniones estructurales denominadas monómeros, los cuales pueden ser iguales (homopolímero) o de dos clases (copolímero) (Diccionario Etimológico Castellano en línea, s.f.).

La mayoría de las estructuras poliméricas están conformadas por carbón, y por consecuencia, se convierten en compuestos orgánicos. Generalmente, los polímeros poseen una buena resistencia mecánica, ya que sus alargadas

cadena tienen grandes fuerzas de atracción intermoleculares, las cuales dependen de la constitución química del polímero. (Poma, 2017)

1.3.2. Clasificación

“Existen varias maneras en que se pueden clasificar los polímeros, según sus características se pueden clasificar como se muestra a continuación” (Collet, 2004, pág. 2).

1.3.2.1. Según su origen

Según la proveniencia de los polímeros y la manera en que se encuentran en la naturaleza o su producción, es posible clasificarlos en tres áreas, las cuales se detallan a continuación:

- Polímeros naturales (biopolímeros)

Se hallan en la naturaleza en el reino vegetal o animal; por ejemplo, las proteínas, lignina y polisacáridos, celulosa, almidón, entre otros.

- Polímeros semi-sintéticos

Se adquieren al modificar químicamente los polímeros naturales, sin destruir su esencia molecular. Ejemplo, caucho vulcanizado, seda artificial a partir de celulosa.

- Polímeros sintéticos

Son manufacturados de manera artificial basados en elementos de menor peso molecular. Ejemplo, nylon y PVC.

1.3.2.2. Según su estructura molecular

Dependiendo de la composición en la estructura y forma de la cadena molecular de los distintos polímeros, se catalogan en los siguientes cuatro grupos:

- Polímeros lineales

Esta clase de polímero se caracteriza porque su estructura molecular está conformada por una cadena en la que sobresalen los grupos laterales, originales del monómero. Ejemplo, Kevlar y polietileno.

- Polímeros ramificados

Formados por largas cadenas que sobresalen fortuitamente de la cadena principal. La cadena principal hereda su composición química a las demás ramas. Ejemplo, poliestireno.

- Polímeros peine

Este tipo de polímeros se caracteriza por ser una combinación entre polímeros lineales y polímeros ramificados. Se le denomina peine debido a su forma característica.

- Polímeros entrecruzados

Se tratan de polímeros ramificados con cadenas entrelazadas y puede considerarse como una macromolécula. Pueden ser cíclicos y se les llaman polímeros en escalera y semiescalera. Ejemplo, caucho.

1.3.2.3. Según sus reacciones de formación

De acuerdo a la reacción química y a la interacción de las moléculas que intervienen en la formación de los polímeros, es factible categorizarlos en los tres siguientes grupos:

- **Polímeros de adición**

Su formación se debe a la unión de moléculas monoméricas no saturadas. Por ejemplo, el polietileno, el cual está formado por varias moléculas de etileno y los polisacáridos, formados por monómeros de monosacáridos.

- **Polímeros de condensación**

Sus macromoléculas están enlazadas multifuncionalmente, regularmente, existe separación de sustancias de peso molecular bajo. Ejemplo, proteínas y el nylon.

- **Polímeros poliaductos**

Sus macromoléculas están enlazadas multifuncionalmente, a diferencia que no existe ninguna separación entre moléculas. Ejemplo, resinas y poliuretanos.

1.3.2.4. Según la composición química de su cadena principal

Los polímeros están configurados en varias cadenas, sin embargo, su cadena principal es la que le brinda distintas características, haciendo posible su clasificación en los dos grupos siguientes:

- Polímeros homocadena

Los polímeros homocadena se caracterizan porque su cadena principal no posee heteroátomos. Existen varios ejemplos de este tipo como lo son las poliolefinas, el poliestireno y los polivinilos.

- Polímeros heterocadena

A diferencia del polímero anterior, este tipo de polímeros es definido porque su cadena principal posee heteroátomos. Es decir, átomos distintos al carbono y al oxígeno.

1.3.2.5. Según sus propiedades físicas

Las propiedades físicas son las que brindan muchas características a los polímeros, llegando a ser de gran importancia en la utilidad de varios productos manufacturados en la industria. Se clasifican en los tres grupos siguientes:

- Polímeros termoestables

No son capaces de fundirse mediante un simple calentamiento debido a la gran dureza de su masa, son necesarias grandes temperaturas para poder destruirse. Ejemplo, baquelita y ebonita.

- Polímeros elastómeros

Pueden sufrir un proceso de deformación cuando se lleve a cabo un proceso que genere su deformación, una vez se acabe el proceso, estos vuelven a su forma original. Ejemplo, caucho.

- Polímeros termoplásticos

Poseen gran facilidad para fundirse y para moldearse. Cuando poseen una estructura regular se consideran cristalinos, por el otro lado, cuando su estructura es irregular se consideran amorfos. Ejemplo, sedas artificiales y celofán.

1.3.2.6. Según su uso

Acorde a la manera en la que se emplean los productos finales que se manufacturan con polímeros como materia prima principal, se clasifican de la siguiente manera:

- Plásticos *commodities*

Su utilización es cotidiana, se fabrican en cantidades grandes, debido a su precio y a sus notables características en varios aspectos. Ejemplos: polietileno Tereftalato (PET) y policloruro de vinilo (PVC).

- Plásticos *specialities*

La diferencia entre este tipo de plásticos y el anterior radica en que su utilización es para aplicaciones más específicas, por consiguiente, poseen un valor agregado. Su precio es más elevado que los anteriores.

1.3.3. Propiedades

Es trabajoso generalizar acerca de las propiedades de los plásticos, ya que existe una gran variedad de los mismos. Las propiedades de unos y otros son muy diferentes dependiendo de su uso.

1.3.3.1. Propiedades mecánicas

Estas propiedades dependen directamente de su composición y estructura molecular. Algunas son la resistencia a la compresión y esfuerzo, flexibilidad, elasticidad, torsión, desgaste, dureza, tenacidad, fragilidad, plasticidad, ductilidad, maleabilidad, etc.

1.3.3.2. Propiedades físicas

Estas dependen de las ramificaciones del polímero. La cristalinidad es la propiedad con mayor importancia en un polímero. Los polímeros lineales poseen mayor simpleza para configurar una malla cristalina. Los polímeros entrecruzados poseen mayor elasticidad.

1.3.3.3. Propiedades eléctricas

Los polímeros poseen baja conductividad eléctrica debido a que carecen de polaridad. Por esa razón, se utilizan como aislantes eléctricos de forma masiva en la industria electrónica. Los polímeros son materiales diamagnéticos, por lo que repele los campos magnéticos.

1.4. Plásticos

De manera general, se comprende por material plástico a aquel con gran capacidad de ser moldeado por medio de esfuerzos o a temperaturas relativamente bajas.

1.4.1. Definición

Agrupación de materiales orgánicos cuyo elemento central es el carbono. Están formados por un conjunto de moléculas cuyo origen puede ser de sustancias naturales o por asimilación de productos derivados del petróleo u otros combustibles fósiles. Su etapa final se encuentra en estado sólido, sin embargo, durante su proceso de conversión puede ser moldeado mediante la adición de calor y presión (Cornish, 1997, pág. 8).

1.4.2. Clasificación

Se pueden encontrar variedad de clases de plásticos, sin embargo, para estudiarlos de manera profunda, se pueden agrupar en las siguientes clasificaciones:

1.4.2.1. Según su naturaleza

En el mercado, es posible encontrar varios tipos de polímeros según la manera en la que se encuentran en la naturaleza o bien, si se manufacturan artificialmente. Se clasifican en los dos grupos siguientes:

- Plásticos naturales

Como su nombre lo indica, este tipo de polímeros se originan de materias primas naturales, como por ejemplo; el látex de la planta de caucho o celulosa de alguna planta.

- Plásticos sintéticos

Esta clase de plásticos son originados de manera artificial y son químicamente modificados a partir de productos derivados del petróleo u otros combustibles fósiles.

1.4.2.2. Según su estructura interna

Los plásticos son manufacturados con varios polímeros, que combinados, les brindan propiedades que pueden ser de utilidad en sus aplicaciones. Se agrupan de la siguiente manera:

- Termoplásticos

Su estructura molecular tiende a debilitarse cuando se emplea calor, por lo que su moldeabilidad aumenta. Por el contrario, cuando el material regresa a su temperatura normal se endurece y vuelve a su estado natural. Pueden moldearse cualquier cantidad de veces, ya que es un proceso reversible. Ejemplo, PVC, PET, polipropileno y poliestireno.

- Termofijos o termoestables

Por el contrario, a los termoplásticos, los termofijos no se transforman al aplicar calor. Por consiguiente, cuando estos llegan a su forma rígida no pueden moldearse de nuevo. La mayoría de veces se presentan en estado líquido y su proceso de moldeo es irreversible y su estructura molecular se entrelaza de manera permanente. Ejemplo, Resinas de poliéster, resinas epoxi y fenoles.

- **Elastómeros**

Estos poseen una red molecular con enlaces escasos, por lo que les es posible deformarse y tener propiedades elásticas. Por lo general, no resisten el calor y tienden a destruirse a temperaturas promedio. Ejemplo, caucho y silicón.

1.4.3. Propiedades

El material más usado en el mundo debido a su bajo coste de manufactura es el plástico. Varias de sus características son de gran utilidad, como su baja densidad, resistencia a la corrosión, son grandes aislantes térmicos y acústicos (Bordón, 2012). Algunas propiedades de este útil material son:

1.4.3.1. Propiedades físicas

Características que tienen relación con los fenómenos físicos, como el calor, que afectan al material. Algunas propiedades físicas de los plásticos se detallan a continuación:

- **Densidad**

Propiedad física con magnitud escalar que indica la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o material en específico. Se simboliza con la letra rho del alfabeto griego.

- Conductividad térmica

Propiedad física que indica la capacidad de conducción de calor, es decir que tan capaz es un cuerpo para transferir su energía cinética de sus moléculas a otras cercanas.

- Dilatación térmica

Cuando sucede un cambio brusco en el aumento de temperatura de un cuerpo, este tiende a dilatarse y cuando disminuye la temperatura bruscamente el cuerpo se contrae.

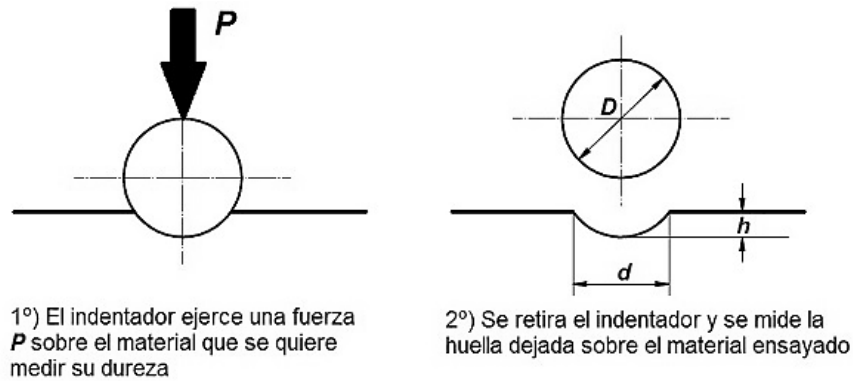
1.4.3.2. Propiedades mecánicas

Se refieren a los esfuerzos sometidos a los cuerpos. Cuando se aplica un esfuerzo a un cuerpo, este tiene 3 opciones; deformarse plásticamente (proceso irreversible), deformarse elásticamente (proceso reversible) o fracturarse.

- Dureza

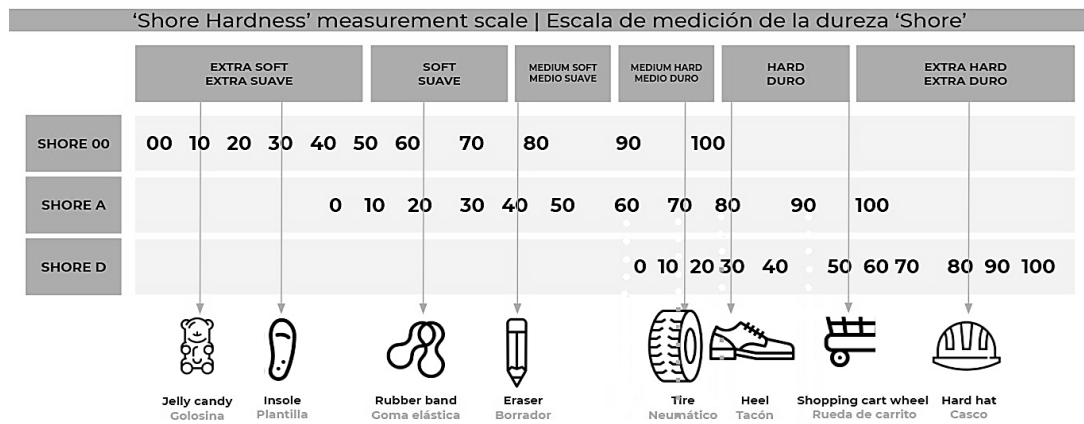
Representa la resistencia a compresión de un determinado material. Existen varios métodos para evaluar la dureza, las cuales son dureza por bola, dureza Rockwell y dureza Shore.

Figura 6. **Ensayo de dureza**



Fuente: Rodríguez, (s.f), *Ensayos de dureza en los materiales*.

Figura 7. **Escala de dureza Shore**

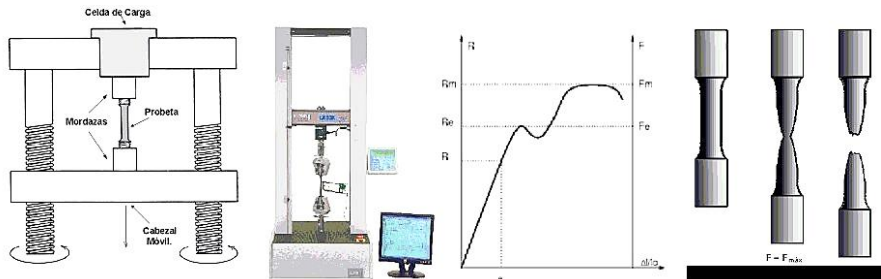


Fuente: Recreus industries S.L., (2021), *¿Qué es la dureza Shore?*.

- Resistencia a la tracción

Son pruebas en las que la muestra se expone a una fuerza en una sola dirección en una máquina universal de ensayos mediante fuerza o desplazamiento de manera controlada (Guede, 2013).

Figura 8. Representación gráfica del ensayo a la tracción



Fuente: Área tecnología, (s.f.), *Ensayo de tracción*.

- Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM)

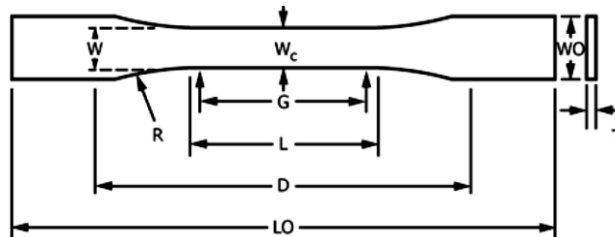
Organización que normaliza y estandariza prácticas de ensayo de materiales. Esta organización insta las normas para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales. (Villalta, 2018, pág. 30)

- Norma ASTM D 638-03

Esta normativa establece la metodología para evaluar la propiedad mecánica de resistencia a la tracción en los materiales plásticos y resinas. De igual manera, brinda una descripción de los requerimientos de precisión para las pruebas, así como también de los accesorios a utilizar.

Las probetas para los ensayos de resistencia a la tracción deben tener formas cilíndricas, con extremos anchos, para facilitar su sujeción en la máquina de ensayos, así como para asegurar la rotura de la misma dentro de la región de menor sección como se presenta en la Figura 9.

Figura 9. **Probeta para ensayos de tracción según norma ASTM D 638-03**



Fuente: ASTM, (2003), *ASTM D638-03 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, p.4.

Se utilizará una probeta tipo III debido a que se desconoce el comportamiento del material por lo que este tipo de probetas están clasificadas para los tres tipos de plástico (no rígidos, semi-rígidos y rígidos). Las probetas tipo III deben construirse tomando en cuenta las especificaciones que se muestran en la Tabla III.

Tabla III. **Medidas de las probetas Tipo III según norma ASTM D 638-03**

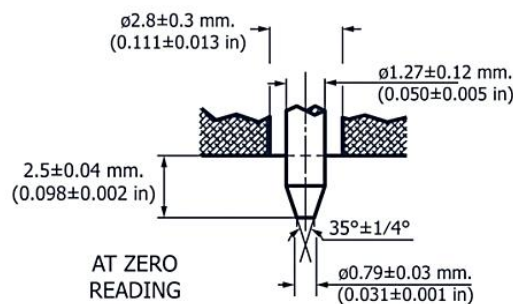
Dimensiones	Símbolo	Valor en mm
Anchura de sección estrecha	W	19
Longitud de sección estrecha	L	57
Anchura general	W0	29
Longitud total	LO	246
Distancia entre apretones	D	115
Radio	R	76

Fuente: ASTM, (2003), *ASTM D638-03 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, p.4.

- Norma ASTM D 2240-15

Esta norma evalúa la dureza por medio de la escala de dureza Shore (Figura 7) y se fundamenta en la depresión ocasionada por un puntal forzado a penetrar en el material de estudio. Se utiliza un durómetro para precisar la dureza del material, un durómetro tipo A mide materiales blandos y un durómetro tipo D materiales duros. Se utilizará un durómetro tipo A como se presenta en la Figura 10.

Figura 10. **Durómetro tipo A**



Fuente: ASTM, (2015), *ASTM D 2240-15 Método para prueba estándar para propiedad del caucho, dureza con durómetro*, p.3.

El espécimen de prueba debe poseer variedad de piezas planas unidas unas sobre otras para obtener un grosor de por lo menos 0.24 pulgadas (6 milímetros), sus medidas laterales deben de ser no menos de 0.5 pulgadas (12 milímetros) de distancia respecto a los bordes (ASTM, 2015).

1.4.3.3. Propiedades eléctricas

Básicamente, una propiedad eléctrica se define como el comportamiento del material de estudio respecto a una corriente eléctrica inducida en un momento determinado, un ejemplo se detalla a continuación:

- Resistencia eléctrica

Esta propiedad eléctrica se refiere a la oposición de un determinado material a la inducción de una corriente eléctrica. La unidad de medida es el ohmio en el Sistema Internacional de medidas.

1.4.3.4. Propiedades magnéticas

Una propiedad magnética consiste principalmente en el comportamiento del material de estudio respecto a un campo magnético que se induce en un determinado momento.

1.4.3.5. Propiedades ópticas

Esta propiedad se puede definir como el comportamiento del material en relación a la luz. Existen varias propiedades ópticas, de las cuales se mencionan las siguientes:

- Transparencia

Esta propiedad se refiere a la facilidad de un material en específico para admitir el paso de luz a través del mismo. Es decir, puede verse a través de él.

- Opacidad

Se refiere cuando un material impide el tránsito de luz a través del mismo. Estos materiales son de uso frecuente en equipos de fotografía y empaques para materias fotosensibles.

1.4.3.6. Propiedades estéticas

Básicamente, este tipo de propiedades se refieren a la manera cualitativa en que el material de estudio está manufacturado. Son propiedades fácilmente observables y sensibles. Las cuales se detallan a continuación:

- **Textura**

Esta propiedad estética se refiere al acabado de la superficie del material de estudio. Existen varias texturas en los materiales, desde rugosas hasta suaves.

- **Color**

Básicamente, esta propiedad indica que el material debe ser agradable a la vista. Se utiliza en mercadeo para llamar la atención de los consumidores y puede ser añadido por varios pigmentos.

1.4.4. Aditivos básicos

Se agregan aditivos a un plástico para que se ajusten a aplicaciones en específico y modificar o añadir propiedades al mismo. Los aditivos se pueden añadir antes, después o durante la manufactura del plástico (Gálvez, 2016, pág. 9). Por ejemplo:

1.4.4.1. Plastificantes

Se añaden plastificantes para aumentar la flexibilidad y facilitar el manejo del plástico durante su manufactura. Las características esenciales de un plastificante son las siguientes:

- Debe ser polar.
- Debe tener características hidrofílicas.
- Debe tener compatibilidad con el almidón.
- Su punto de ebullición debe ser menor a la temperatura del proceso.

1.4.4.2. Estabilizadores

El objetivo de añadir estabilizadores a los plásticos es aumentar su fuerza y su resistencia a la degradación. De igual manera, brindan resistencia al calor, a la exposición a luz y a la oxidación.

1.4.4.3. Pigmentos

Sustancias que carecen de solubilidad y que agregan color al plástico. Generalmente, se esparcen fácilmente, son resistentes al calor generado durante el proceso de fabricación y son opacos.

1.4.4.4. Sustancias ignífugas

Utilizados para evitar la inflamabilidad de los plásticos. Las sustancias ignífugas no deben de liberar gas en caso de incendio, no deben ser inflamables ni alterar las propiedades mecánicas del material. Como regla general, estas deben ser degradables para evitar contaminación.

1.4.4.5. Sustancias antiestáticas

Estas disminuyen la carga generada por la estática en el plástico de manera superficial. Deben ser sustancias que atraen el agua y la humedad del ambiente para adicionar conductividad en la superficie del material.

1.4.4.6. Reforzantes

Su objetivo principal es aumentar la tensión y solidez de los plásticos. Los reforzantes más utilizados son la fibra de carbono y de vidrio.

1.4.5. Usos

Hoy en día, los plásticos se pueden utilizar en distintos campos de la industria manufacturera y de servicios. A continuación, se mencionan algunos ejemplos:

- Envases y empaques.
- Productos de consumo masivo.
- Industria textil.
- Sector eléctrico.
- Sector transporte.
- Maquinaria industrial.
- Sector construcción.
- Sector agrícola.

1.4.6. Industria del plástico en Guatemala

Primeramente, se define a la Industria del plástico como: “el conjunto de actividades y procesos que tiene como finalidad transformar la materia prima en productos específicamente de plástico, puede ser para medicamentos, cosméticos, materiales de construcción, restaurantes, etc.” (Orellana, 2010, p. 9).

La industria del plástico en Guatemala tiene sus orígenes en el año 1948, al mismo tiempo en que se instituyó la primera distribuidora de bolsas plásticas

fabricadas en el país vecino de México. Este suceso marcó una nueva etapa en la industria del país.

“El mercado del plástico ha ido en desarrollo gradual, aumentando su campo desde utensilios desechables como vasos, platos y cubiertos hasta bolsas plásticas y recipientes” (Quixtán, 2005, p.58).

El sector industrial del plástico guatemalteco ha sido uno de los sectores que cuenta con mayor desarrollo, mejores instalaciones y equipo productivo de todo el istmo centroamericano, ya que posee maquinaria de alta producción, proveniente de la década de los noventa.

“Hoy en día, se cuenta con más de doscientos empresas a nivel nacional innovando y mejorando día con día el sector del plástico con el fin de aumentar la productividad del país” (Salazar, 2008, p.1).

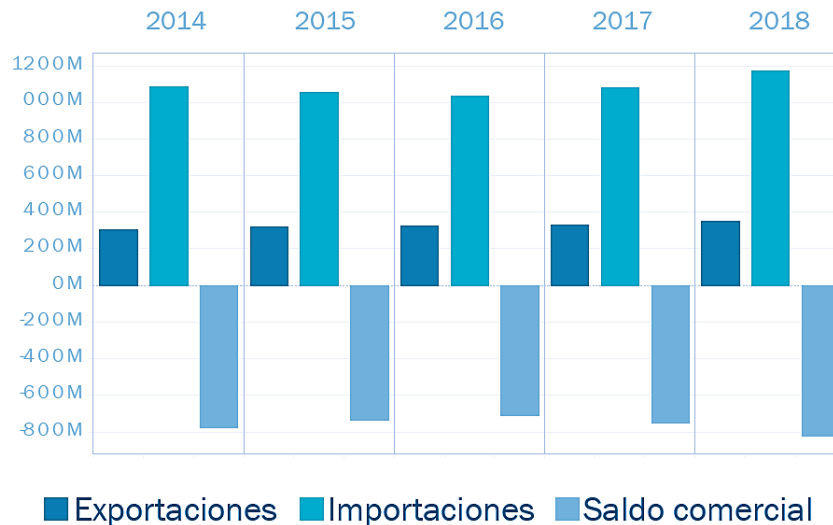
1.4.7. Comercialización de plásticos en Guatemala

La industria de producción de plástico nacional produce cerca de dos millones de dólares al año, constituyendo aproximadamente el dos por ciento del producto interno bruto (PIB).

Las exportaciones de este sector sobrepasan los trescientos cincuenta millones de dólares y aportan a la generación de veinticinco mil puestos de trabajo directos y cien mil puestos de trabajo indirectos (González, 2018).

La comercialización de plásticos en Guatemala es medible mediante sus exportaciones e importaciones; ejemplificando esto en la Figura 11, durante los años 2014 al 2018, con cifras en millones de dólares estadounidenses.

Figura 11. **Comercio en Guatemala de materiales plásticos y sus manufacturas**



Fuente: Ministerio de Economía. (2018). *Guatemala. Manufacturas: Materiales plásticos y sus manufacturas*, p. 1.

Como se puede observar, las exportaciones e importaciones a nivel nacional en plásticos han tenido un rendimiento bastante estable y en aumento. Este sector industrial suministra a otros comercios locales; sector agroindustrial, alimenticio y comercial, así como las industrias químicas y farmacéuticas.

1.4.8. Problemática ambiental del plástico en Guatemala

Según Villalta (2018) la problemática ambiental del plástico se basa en cuatro aspectos puntuales:

- La materia prima no es renovable, proveniente de los productos derivados del petróleo.
- La toxicidad de los químicos empleados en su síntesis.

- Prolongado proceso de degradación.
- Aumento en la manufactura de plástico y acaparamiento de residuos sólidos.

El plástico se ha convertido en uno de los elementos que representa los 0.51 kilogramos al día de residuos sólidos que una sola persona genera en el país, acorde a un estudio realizado por el MARN.

En el año dos mil seis, según los datos del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar se producían aproximadamente de 6,000 a 7,000 toneladas al día de residuos sólidos (González, 2018).

Los plásticos son los mayores residuos sólidos, por ello en la actualidad se han creado estrategias para el buen manejo de los mismos para lograr un freno en la escala de contaminación a nivel global.

En Guatemala actualmente, 17 municipalidades han promovido la no utilización de bolsas plásticas, lo cual es un avance en la legislación local de los municipios, todo gracias a la iniciativa 5196, para la regulación en el uso y comercio de bolsas plásticas en Guatemala (González, 2018).

El problema del plástico es muy complejo, por lo tanto, debe analizarse la situación profundamente y no sólo de manera superficial, si bien, la prohibición del plástico se ve de manera positiva, esto solamente resolverá una pequeña parte del dilema, por lo que tener buenas políticas de gobierno e implementación de programas para la concientización ambiental es esencial para que la población comience a emprender y crear nuevas alternativas para mitigar el uso del plástico.

Los datos más aceptables con relación a residuos sólidos en el país proceden de la Cuenta Integrada de Residuos y Emisiones (CIRE), documento escrito por IARNA, el Banco de Guatemala y el INE en el período comprendido entre los años 2001 a 2010.

El documento nos muestra que el sector de manufactura es el causante del noventa y ocho por ciento de la mayoría de residuos sólidos, y en los hogares nada más generan un dos por ciento. Los plásticos, los cuales están contenidos dentro de esos residuos sólidos, en 2010 representaron un 0.13 % (149,507.2 toneladas anuales) de la totalidad de más de 15 clasificaciones de residuos por tipo de producto (González, 2018).

Las políticas nacionales del gobierno para el manejo de residuos son las siguientes:

- Política para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos.
- Política para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos.

Los productos de estas políticas han sido pocos. Hasta el momento, no existe un marco legal de implementación de programas.

1.5. Bioplásticos

Son materiales biodegradables que provienen de fuentes renovables. Con el paso de los años, su uso aumenta y se venden como una alternativa viable para reducir el uso de los plásticos derivados del petróleo.

1.5.1. Definición

Se denomina bioplásticos a los polímeros manufacturados a partir de elementos naturales. Estos productos son mucho más amigables con el ambiente, por la sencilla razón que presentan una reducción significativa en su huella de carbono y en la utilización de combustibles fósiles para su conversión.

Debido a lo anterior, su coste no depende del crudo, dando un plus al producto y transformando los bioplásticos en una alternativa totalmente viable para sustituir a los plásticos provenientes de derivados del petróleo. La propiedad con mayor importancia de los bioplásticos es la degradación, sin embargo también poseen ductilidad, resistencia y flexibilidad (Villalta, 2018, pág. 23).

1.5.2. Clasificación

Cuando se habla de bioplásticos, existe una diversa variedad de materiales que presentan algunas diferencias de propiedades. Se clasifican según su origen.

1.5.2.1. Origen fósil

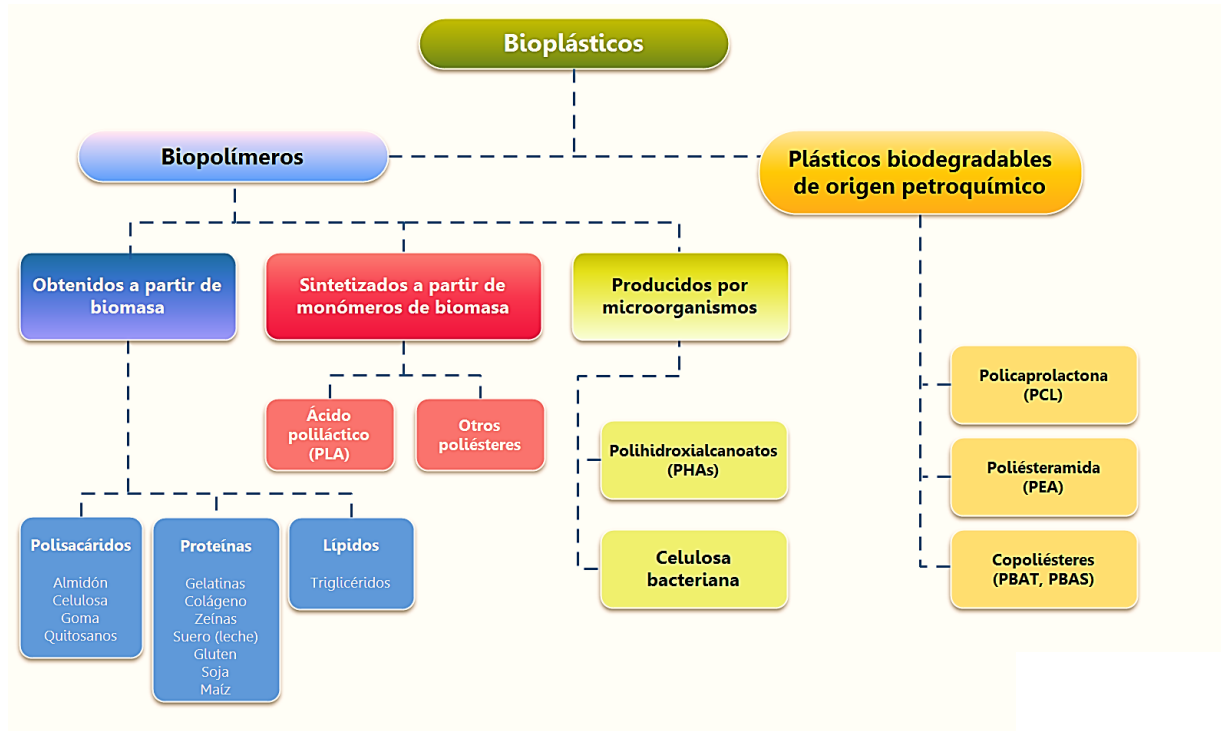
Estos bioplásticos están constituidos en base a materiales fósiles de origen petroquímico, sin embargo, poseen la etiqueta “bio” debido a que ciertos microorganismos generan degradación en estos.

1.5.2.2. Origen biológico

También llamados biopolímeros, son manufacturados a partir de elementos vegetales como mango, maíz, plátano, etc. Son relativamente nuevos,

por lo que están innovando la industria del plástico y generalmente se utilizan para fabricar envases.

Figura 12. Clasificación de bioplásticos



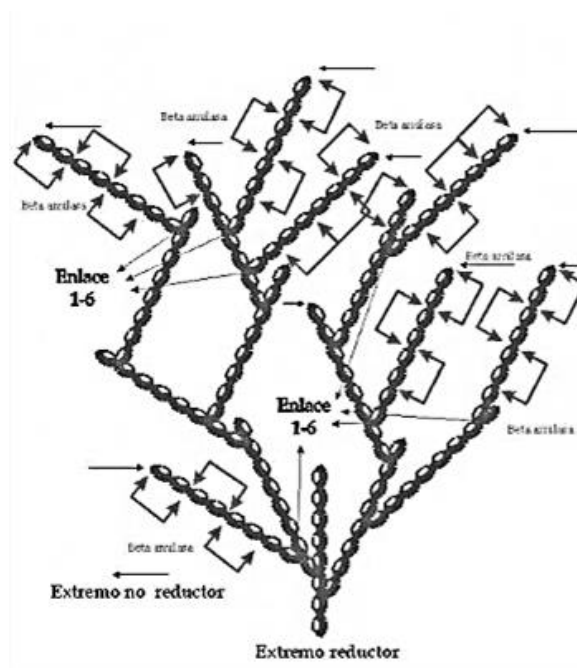
Fuente: Zeplast, (2012), *Tipos de bioplástico*.

1.5.3. El almidón como materia prima de bioplásticos

El almidón es una macromolécula vegetal presente en raíces, como en semillas, tubérculos y frutas; formada por un par de polímeros diferentes de glucosas llamadas amilosa y amilopectina. Se manifiesta en forma de granos y su principal función es de reserva de energía en los carbohidratos de origen vegetal (Villalta, 2018, pág. 25). Sus compuestos son los siguientes:

- Amilopectina: El almidón se conforma con el setenta y setenta y cinco por ciento de este polímero, está conformado por α -D-glucopiranosas. Posee un gran peso molecular, esto a consecuencia que cada molécula que lo conforma suele poseer de dos mil a doscientas mil unidades de glucosa.

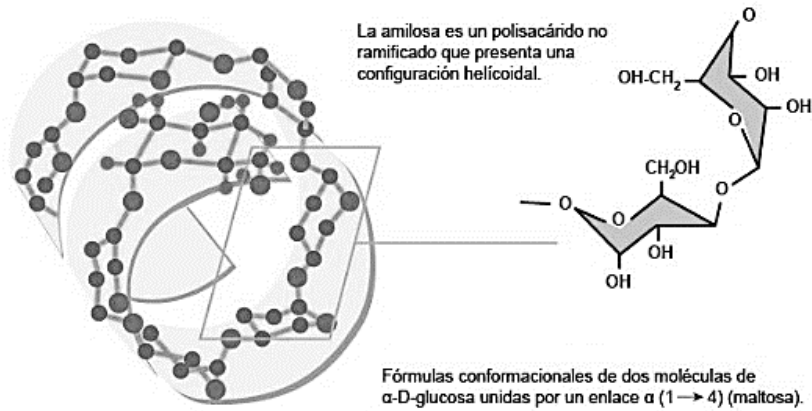
Figura 13. **Conformación de la amilopectina**



Fuente: Corchón, (2020), *Los polisacáridos*.

- Amilosa: El almidón se conforma con el veinticinco y treinta por ciento de este polímero. Se genera por efecto de la condensación de D-glucopiranosas mediante uniones glucosídicas. Consta de cadenas en forma lineal entre doscientos y doscientas cincuenta unidades, con pesos moleculares hasta de 1,000,000. Posee forma 3D helicoidal, cada hélice está constituida por seis moléculas de glucosa.

Figura 14. **Conformación de la amilosa**



Fuente: Corchón, (2020), *Los polisacáridos*.

La característica más importante del grano del almidón consiste en su densidad e insolubilidad en agua, pero este puede contener agua conforme va incrementando la temperatura, a este fenómeno se le denomina gelatinización. Como resultado final, se produce una sustancia pastosa en la que se encuentran una serie de cadenas de amilosa de peso molecular bajo, hidratadas en extremo que circundan a otros componentes. (Villalta, 2018)

El proceso de conversión de almidón seco en bioplástico se fundamenta en el rompimiento y fundición de la estructura semicristalina del gránulo. El almidón no tendrá las propiedades necesarias de un material plástico sin los aditivos adecuados, estos aumentan mecánicamente las propiedades del material por su facilidad de reducción de correlación en los enlaces de hidrógeno, asimismo, agrandan el espacio intermolecular. (García, 2015)

Otra característica importante del almidón es la semicristalinidad, la cual posibilita al polímero exhibir dos zonas definidas en estado sólido. Una de estas

es amorfa, la cual se conforma por ramales de amilosa y amilopectina, mientras que la otra es cristalina, la cual está constituida por amilopectina. (Villalta, 2018)

De igual manera, el almidón posee propiedades termoplásticas debido a que posee un 70 % de amilosa, la cual brinda una armazón firme y maleable. Ahora bien, la amilopectina aporta pobres propiedades mecánicas. Los componentes de los almidones hidroxipropilados son utilizados para la conservación y evitar la oxidación en diferentes alimentos. (Iguardia, 2013, p.18)

El almidón también posee propiedades (resistencia mecánica y flexibilidad). Estas propiedades obedecen a la región cristalina que posee el almidón. Mayoritariamente, esta tiene su base en la relación que existe entre la amilosa y la amilopectina, peso molecular distribuido, grado de ramificación y configuración de cada elemento presente en el polímero. (Villalta, 2018, p.27)

1.5.4. Aplicaciones

Generalmente, los bioplásticos se emplean en ocasiones cuando la propiedad de degradabilidad es aprovechable. Se presentan algunas aplicaciones:

- Agricultura: Bolsas plásticas para plantas o macetas, que al finalizar su uso se transforman en biomasa sobre el propio terreno.
- Hogar: Bolsas de basura degradables, utensilios desechables, pajillas o popotes.

- Electrónica de consumo y automóviles. Toyota ha ideado un automóvil equipado en su interior en un 80 % de materias primas renovables utilizando bio-PET, un plástico basado en caña de azúcar. El ácido poliláctico (PLA) o espuma de poliuretano (PUR) basado en soja se usan para fabricar partes de automóviles.

1.5.5. Degradabilidad

Facultad de descomposición de un material, ya sea de manera biológica o química y está íntimamente ligada con la estructura química y las condiciones del mismo.

1.5.6. Mecanismos de degradabilidad

Existen cuatro mecanismos para que la descomposición de un material con propiedades biodegradables sea posible en ambiente en condiciones normales, los cuales se detallan a continuación:

1.5.6.1. Biodegradabilidad

Mecanismo de degradación originado por microorganismos (hongos, bacterias y algas) que ocasionan alteraciones químicas en la estructura del material transformándolos en productos elementales.

1.5.6.2. Compostabilidad

También llamada oxidación biológica. Este mecanismo consiste en colocar el material dentro de un recipiente metálico por tres meses a una temperatura de cincuenta grados Celsius.

1.5.6.3. Erodabilidad

Mecanismo de degradación ocasionado por disolución en H₂O o descomposición fotolítica mediante rayos UV causados mediante radiación solar en cierto tiempo. No se utilizan microorganismos.

1.5.6.4. Hidrobiodegradación y fotobiodegradación

La hidrobiodegradación consiste en degradar el material mediante fenómenos hidrolíticos y biológicos de manera simultánea. Por otra parte, la fotobiodegradación trata la degradación por medio de transformaciones químicas provenientes de la absorción lumínica que van reduciendo de manera gradual las propiedades del material.

1.6. Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección es uno de los principales mecanismos de transferencia de calor. Aunque los líquidos y gases no son buenos conductores de calor, pueden transferir calor de manera fácil y rápida por convección.

1.6.1. Definición

Se define convección como el fenómeno de transferencia de calor generado por la circulación de fluidos en movimiento sobre un objeto sólido. Puede ser natural o forzada.

1.6.2. Convección forzada

El movimiento del fluido se hace más eficiente con ayuda de medios artificiales, como un ventilador o una bomba. El ventilador es una de las maneras más comunes para forzar gases, por otro lado, la bomba se utiliza frecuentemente para fluidos. Su eficiencia es definida por el área expuesta de la superficie a calentar. A mayor área, se necesita mayor corriente de fluido.

2. SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La selección y recolección de materia prima se hizo previo a la realización del procedimiento experimental a nivel laboratorio. Se explica más a detalle a continuación:

2.1. Reconocimiento y selección del plátano (*Musa paradisiaca*)

Basado en la Tabla II, se seleccionó 30 plátanos en estado 1 de maduración con color de cáscara verde, como se presenta en la Figura 15, ya que estos contienen 61.7 % de almidón. El plátano verde se obtuvo de una plantación propia.

Figura 15. Plátano (*Musa paradisiaca*) en estado 1 de maduración






Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

2.2. Recolección de reactivos

Los reactivos y sus cantidades se detallan en la Tabla IV. Los mismos fueron comprados en una empresa especializada en productos químicos, a excepción de la fécula de yuca que se obtuvo en el supermercado.

Tabla IV. **Reactivos**

Nombre	Cantidad Obtenida	Descripción	Figura
Ácido ascórbico al 99 %	1 kg	Se utiliza para evitar la oxidación de algunas frutas cuando quedan expuestas a oxígeno.	
Ácido acético al 95 %	1 kg	Acetato que sirve como vehículo para realizar la mezcla.	
Glicerina al 99 %	0.5 kg	Alcohol con 3 grupos hidroxilo, eso le posibilita ser soluble en agua. Le da al material suavidad y uniformidad.	

Fuente: Glamtown (2018).

Fuente: Químicos Albor Ltda. (2020).

Fuente: Grupo Chedraui (2018).

Continúa Tabla IV.

**Agua
destilada**

1 Galón

Agua que ha pasado un proceso de destilación, el cual elimina impurezas.



Fuente: Ecured (s.f.).

**Fécula de
yuca**

400 g

Almidón extraído de la raíz de yuca para dar más rigidez al prototipo.



Fuente: El molino verde (2020)

Fuente: Elaboración propia.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL


Con el propósito de evaluar la manera en que las cantidades de los reactivos inciden en las características finales del plástico biodegradable se realizó 3 formulaciones para producir el prototipo de plato desechable. Se obtuvo 30 plátanos verdes, con la finalidad de utilizar 10 plátanos para cada formulación.

El experimento se realizó en las instalaciones del laboratorio de química en la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. A continuación, se describe el mismo.

3.1. Equipos y utensilios

En la Tabla V, se presentan los equipos y utensilios necesarios para elaborar los platos desechables de plástico biodegradable.

Tabla V. Equipos y utensilios

Nombre	Descripción	Figura
Balanza digital	Se utiliza para pesar la materia prima con más exactitud.	

Fuente: Sistemas de Pesaje S.A (s.f.).

Continúa Tabla V.

Probetas de 50 y 100 ml

Utensilio volumétrico, hecho de vidrio. Este permite medir volúmenes con un ligero grado de inexactitud.



Fuente: Labcomercial (2020).

Beaker de 200 ml

Frasco cilíndrico de vidrio, usado frecuentemente para medir el volumen, calentar y mezclar sustancias.



Fuente: eBay Inc. (2020).

Horno de convección

Equipo desarrollado para garantizar el secado de productos sólidos con mayor eficiencia.



Fuente: Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S., 2021

Molino de maíz

Utensilio cuyo objetivo principal es moler productos.



Fuente: Tecnipesa (2017).

Continúa Tabla V.

**Mortero de
cerámica**

Se utiliza para moler el polvo que aún no tiene la granulometría correcta.



Fuente: QuercusLab (2014).

**Tamiz de 250
micras**

Utensilio cuya función es separar los polvos finos de los gruesos.



Fuente: Asesoría Técnica Especializada (2017).

**Agitador
magnético**

Equipo que utiliza magnetismo para agitar una sustancia, reduce al mínimo la contaminación de los reactivos.



Fuente: Instrumentos de laboratorio (2020).

Termómetro

Utensilio cuya función es medir la temperatura.



Fuente: Thermo Fisher Scientific Inc. (2020).

Moldes

Utensilios para dar forma de plato al biopolímero.



Fuente: Kemik (2020).

Continúa Tabla V.

**Papel
parafinado**

Se coloca para evitar que la mezcla se adhiera al molde durante el secado.



Fuente: La alacena del chef
(2020).

Fuente: elaboración propia.

3.2. Formulaciones para la elaboración de los platos desechables de plástico biodegradable

Durante el procedimiento a nivel laboratorio, se realizó dos fases de experimentación para elaborar los platos desechables y estudiar sus propiedades. Se detallan a continuación:

3.2.1. Experimentación fase 1

Se realizó tres formulaciones con el fin de determinar la formulación óptima para desarrollar el prototipo de plato desechable. Se varió la cantidad de almidón de plátano, fécula de yuca, ácido acético al 95 % y glicerina al 99 %; las demás materias primas se quedan constantes.

Las cantidades que conforman las tres formulaciones son descritas más a detalle a continuación en la Tabla VI.

Tabla VI. **Conformación de formulaciones de la experimentación fase 1**

Materia prima	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Ácido ascórbico al 99 % (ml)	500	500	500
Almidón de plátano (g)	20	23	21
Ácido acético al 95% (ml)	10	20	25
Glicerina al 99 % (ml)	10	15	20
Agua destilada (ml)	60	60	60
Fécula de yuca (g)	10	15	0

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Experimentación fase 2

Esta fase se realizó con la finalidad de evaluar las propiedades mecánicas del plástico biodegradable. Se realizó tres formulaciones, en las que se dejó constante la cantidad de polvo de almidón, ácido acético al 95% y glicerina al 99%; donde fue variada la cantidad de fécula de yuca, la cual se añadió para brindarle mayor rigidez al material en el proceso de formado. Las cantidades que conforman las tres formulaciones se detallan en la Tabla VII.

Tabla VII. **Conformación de las formulaciones de la experimentación fase 2**

Resultado	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Cantidad de fécula de yuca (g)	15	20	25

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Procedimiento para el proceso de extracción del almidón de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)

El procedimiento experimental para la extracción del almidón de la cáscara de plátano se explica con detalle continuación:

- Extracción del endocarpio de la cáscara

Se pela los plátanos verdes para posteriormente pesar la cáscara en la balanza digital. Se utiliza un pelador de acero inoxidable para extraer el endocarpio, parte interna de la cáscara, con la finalidad de hacer las tiras lo más finas posibles; para luego ser pesadas en la balanza digital. El producto obtenido es el almidón.

- Reposo

Debido a que el ácido ascórbico al 99 % se obtuvo en polvo, este se diluye en agua potable. Inmediato al pelado, cada tira de almidón se reposa en la solución para evitar que el almidón alcance su etapa de oxidación.

Figura 16. **Reposo de tira de almidón en ácido ascórbico al 99 %**



Fuente: Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

- **Secado**

Se retira las tiras de almidón de la solución. Se seca las mismas con papel mayordomo para eliminar el exceso de agua y agilizar el proceso. Se coloca las tiras en una bandeja para hornear forrada con papel parafinado para evitar que estas se adhirieran a la bandeja.

Con el fin de deshidratar el almidón, se introduce las tiras en el interior de un horno de convección a 120°C durante dos horas. Al finalizar el procedimiento de secado, se pesa las tiras deshidratadas en la balanza digital.

Figura 17. **Proceso de secado de las tiras en horno de convección**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

- **Granulado mecánico**

Se coloca las tiras de almidón deshidratado en un molino de maíz con el fin de pulverizarlas.

Figura 18. **Proceso de granulado mecánico**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

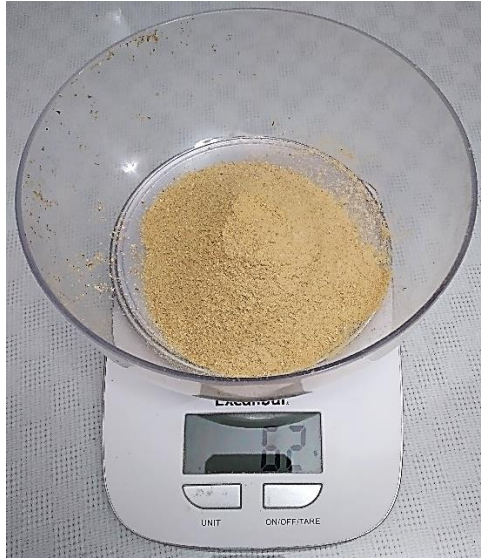
- Granulado manual

Debido a que es necesaria una granulometría más fina, el almidón pulverizado se somete a un proceso de granulado manual con la ayuda de un mortero de cerámica.

- Tamizado

Para homogenizar la granulometría del polvo, se vierte en un tamiz de 250 micras hasta conseguir la consistencia de grano requerida. Por último, se pesa el almidón en polvo en la balanza digital.

Figura 19. **Polvo de almidón homogéneo**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Se calcula la diferencia del peso, en gramos, de la cáscara de plátano antes y después del pelado, con esos datos, es posible obtener el peso inicial de las tiras de almidón antes de deshidratar. El peso final se obtiene con el dato del peso de las tiras después del proceso de secado.

Con los datos anteriores, se calcula el porcentaje de deshidratación con el fin de verificar que las tres formulaciones resulten con una cantidad homogénea de almidón, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ deshidratación} = \left(\frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \right) * 100$$

3.4. Procedimiento para la conversión del almidón en platos desechables de plástico biodegradable

Se explica a continuación:

- Mezclado

Se precalienta agua destilada a 70°C en un beaker de 200 ml y un agitador magnético. Posteriormente, se añade el polvo de almidón de plátano, glicerina al 99 %, ácido acético al 95 % y fécula de yuca. Se mezcla a una velocidad constante hasta conseguir una masa homogénea.

Figura 20. **Proceso de mezclado**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Laboratorio de Ingeniería Química, USAC.

- **Formado**

Se deposita la masa en un molde de plato circular de 6 pulgadas de diámetro y se introduce en un horno de convección a 60°C durante 24 horas, con la finalidad de fraguar la mezcla conformando un plato desechable.

Figura 21. **Proceso de formado utilizando un horno de convección**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Laboratorio de Ingeniería Química, USAC.

3.5. Evaluación de la degradación de los platos desechables

Se realizó una evaluación cualitativa para determinar el tiempo que le toma al plato desechable degradarse en condiciones ambientales normales. El prototipo obtenido con la formulación óptima durante la experimentación fase 1 se depositó en una bolsa plástica cerrada y se sometió en la intemperie por 40, 60 y 80 días.

4. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE

Se realizó los ensayos en las instalaciones del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para ello, se estructuró tres formulaciones, descritas en la experimentación fase 2, donde fue variada la cantidad de fécula de yuca.

4.1. Evaluación de resistencia a la tracción del material según normativa ASTM D 638-03

Se elaboró moldes de acero inoxidable para probetas tipo III, según norma ASTM D 638-03 con características descritas en la Tabla III y Figura 9.

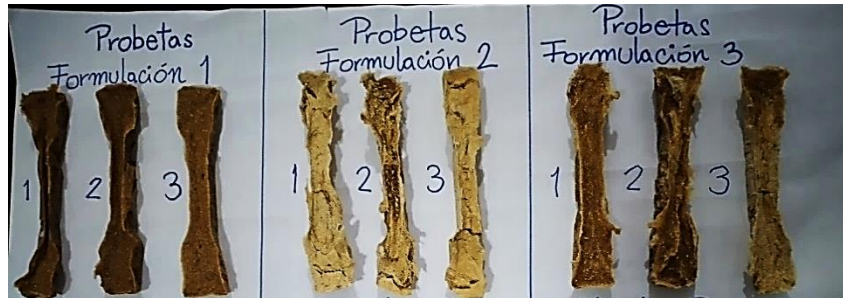
Figura 22. **Moldes para probetas tipo III según norma ASTM D 638-03**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Se realizó 3 muestras para cada formulación y se estudió un total de 9 probetas (Figura 23). Los moldes fueron forrados con papel parafinado para evitar que la mezcla se adhiriera en el mismo; se siguió el procedimiento del numeral 3.2 y se realizó el secado a temperatura ambiente durante tres días.

Figura 23. **Probetas tipo III según norma ASTM D 638-03**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Posteriormente, cada probeta fue sometida a una prueba de resistencia a la tracción. Se utilizó la prensa artesanal de la Figura 24. El principio de funcionamiento de la prensa artesanal de ensayos radica en agregar agua paulatinamente al recipiente, con el fin de simular una carga; ello provoca que la probeta se rompa al momento de llegar al punto de máximo esfuerzo.

Figura 24. **Prensa artesanal de ensayos**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Con los datos del promedio del peso del recipiente (carga) al momento de la ruptura de las tres probetas de cada formulación y el área promedio de las tres probetas de cada formulación, se calcula el esfuerzo máximo que el material puede soportar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Esfuerzo } (\sigma) = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}} = \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Como resultado, se consigue el esfuerzo máximo que soporta el material de las tres formulaciones establecidas en la experimentación fase 2. Este dato es de utilidad para evaluar la incidencia de la fécula de yuca en la resistencia del material.

4.2. Evaluación de la dureza según norma ASTM D 2240-15

Se realizó ensayos de dureza para determinar la rigidez del material basado en la norma ASTM D 2240-15. Se empleó un durómetro tipo A y se sometió a prueba muestras circulares con superficie plana; el resultado obtenido se interpretó en la escala de dureza de Shore A. Para ello, se elaboró moldes de acero inoxidable en forma circular de 4 cm de diámetro y 2 cm de grosor.

Figura 25. **Moldes para muestras de dureza**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Se realizó 3 muestras para cada formulación y se estudió un total de 9 muestras. Los moldes fueron forrados con papel parafinado para evitar que la mezcla se adhiriera en el mismo; se siguió el procedimiento del numeral 3.2 y se realizó un proceso de secado a temperatura ambiente durante tres días.

Figura 26. **Muestras para realizar el ensayo de dureza de Shore**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Posteriormente, cada muestra se sometió a una prueba de dureza. Se empleó un durómetro tipo A y se punzó el material con la aguja del durómetro. Con lo anterior, se obtuvo su escala de dureza como se presenta en la Figura 27.

Figura 27. **Ensayo de dureza de Shore A**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Se obtuvo los datos promedio de dureza en escala de Shore A de dos muestras de cada formulación, ya que una muestra de cada formulación no era apta para el ensayo por cuestión de grosor. Por último, se ubicó el dato promedio en la Escala de Shore A (Figura 7) y se determinó la dureza del material comparado con otro material de dureza similar.

5. FACTIBILIDAD DEL PRODUCTO EN COMPARACIÓN CON OTROS CONVENCIONALES

Por último, se estudió la factibilidad ambiental y económica del producto obtenido utilizando varios criterios. Estas factibilidades se detallan a continuación:

5.1. Factibilidad ambiental

El plato desechable de plástico biodegradable obtenido podrá ser utilizado como sustituto de los platos desechables basados en plástico convencional derivado del petróleo, lo cual tendrá un impacto ambiental positivo, contribuyendo así, a la reducción de residuos sólidos plásticos. De igual manera, al utilizar la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), el proyecto aporta al manejo sustentable de residuos sólidos.

La mayor ventaja del material obtenido radica en el hecho de que tarda menos tiempo en degradarse en comparación con los plásticos derivados del petróleo, además de no ser perjudicial para la salud, tanto humana como animal y vegetal. Asimismo, el uso de los bioplásticos facilita de gran manera el manejo de desechos sólidos, por lo que se empleará menos tiempo en la clasificación de los mismos y todo esto conlleva a la responsabilidad social y al incentivo de una cultura ambiental.

El compostaje es una vía de degradación de este material. El proceso productivo del plato desechable de plástico biodegradable es totalmente libre de

emisiones, por lo que se reducen los gases de efecto invernadero provocados en el proceso productivo del plástico derivado del petróleo.

Los plásticos biodegradables contribuyen a un desarrollo sostenible, debido a que la emisión de gases efecto invernadero, como el CO₂, provocados por el plástico derivado del crudo se minimizan significativamente en un rango de 0.8 a 3.2 toneladas con la producción de bioplásticos. De igual manera, la acumulación de residuos sólidos se reduce en un intervalo del veinticinco a cincuenta por ciento como resultado de la facilidad con la que se degradan los biopolímeros.

5.2. Factibilidad económica

El análisis económico realizado para este proyecto se centra en el cálculo de los costos de la elaboración de un plato desechable realizado con la formulación óptima en la experimentación fase 1, así como también, para su utilización como sustituto de los platos desechables de plástico basado en derivados del petróleo. El plátano se consiguió a coste cero debido a que se obtuvo de una plantación propia.

Por lo que la rentabilidad no puede definirse en función de un retorno económico del proyecto porque no es su finalidad, sin embargo, puede compararse el costo unitario del producto obtenido contra los costos unitarios de platos desechables de material similar con el objeto de verificar la rentabilidad.

En la Tabla VIII, se detallan los costos unitarios de otros productos similares al plato desechable de plástico biodegradable obtenido.

Tabla VIII. **Costos unitarios de productos similares al obtenido**

Producto	Composición	Costo	Unidades	Costo unitario
Plato plástico biodegradable de 6" de diámetro	Resinas biobasadas	Q.29.95	50 unidades	Q.0.60
Plato plástico de 6" de diámetro	Polipropileno desechable	Q.5.65	20 unidades	Q.0.28
Plato de duroport de 6" de diámetro	Poliestireno expandido	Q.1.92	25 unidades	Q.0.08

Fuente: Distribuidora Alcance, *Suministros institucionales*, 2018.

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

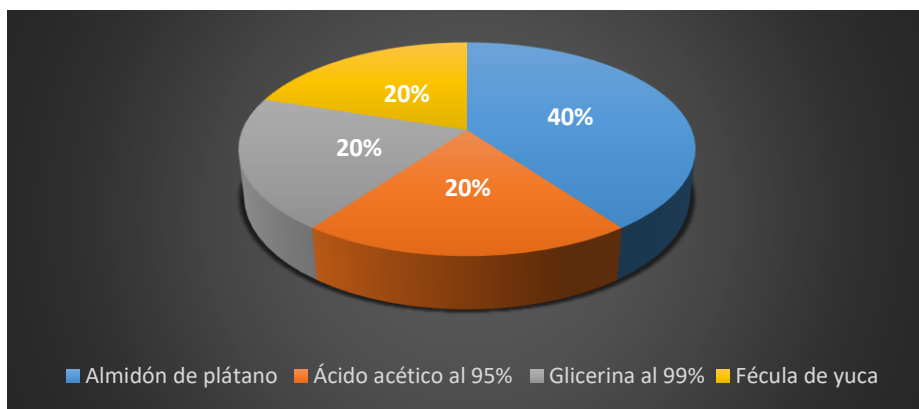
6.1. Elaboración de los platos desechables de plástico biodegradable

Para realizar los platos desechables de plástico biodegradable extraído de la cáscara de plátano, se realizó dos fases de experimentación de la siguiente manera:

6.1.1. Experimentación fase 1

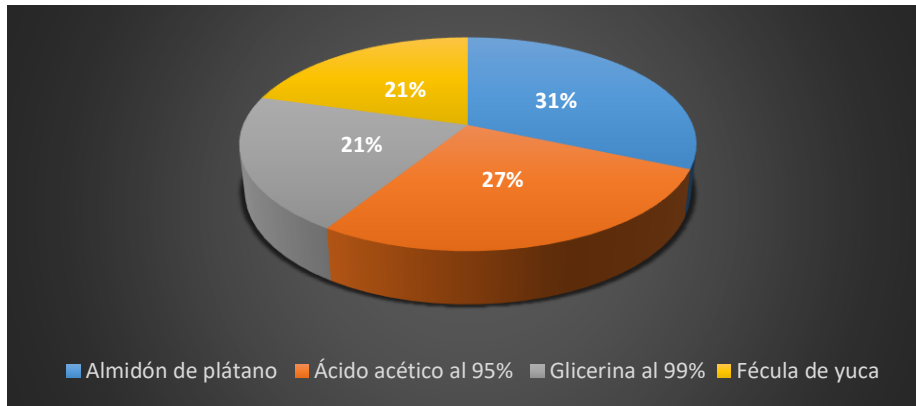
Se elaboró tres formulaciones para evaluar la manera en que las cantidades de los reactivos inciden en las características finales del plástico biodegradable. A las formulaciones 1 y 2 se añadió fécula de yuca, mientras que a la tercera formulación no se añadió. Los porcentajes que conforman las tres formulaciones se detallan a continuación:

Figura 28. Estructuración de la Formulación 1 (Fase 1)



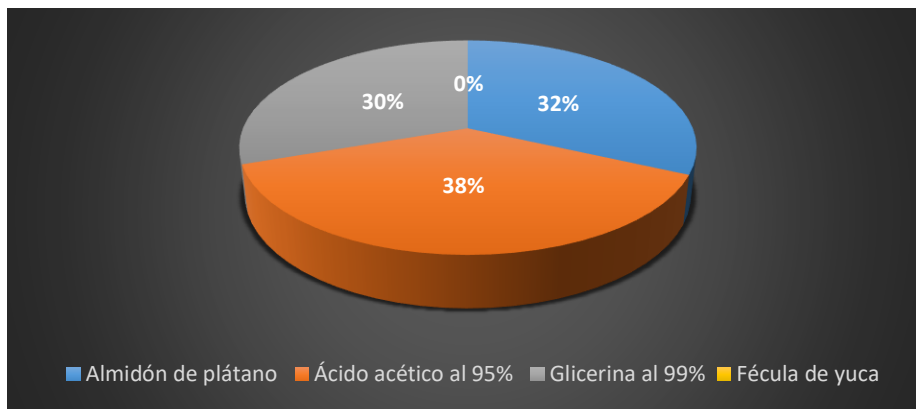
Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2013.

Figura 29. **Estructuración de la Formulación 2 (Fase 1)**



Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2013.

Figura 30. **Estructuración de la Formulación 3 (Fase 1)**



Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2013.

Los resultados de la experimentación fase 1 se registran con más detalle en la Tabla IX.

Tabla IX. **Resultados de la experimentación fase 1**

Resultado	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Peso de la cáscara de plátano (g)	904	937	927
Peso del almidón extraído (g)	93	98	80
Volumen de ácido ascórbico al 99 % (ml)	500	500	500
Temperatura de secado (°C)	120	120	120
Tiempo de secado (h)	2	2	2
Peso del almidón deshidratado (g)	20	23	21
Porcentaje de deshidratación (%)	79.38	76.53	73.75
Volumen ácido acético al 95 % (ml)	10	20	25
Volumen glicerina al 99 % (ml)	10	15	20
Volumen agua destilada (ml)	60	60	60
Peso de fécula de yuca (g)	10	15	0
Temperatura de formado (°C)	60	60	60
Tiempo de formado (h)	24	24	24

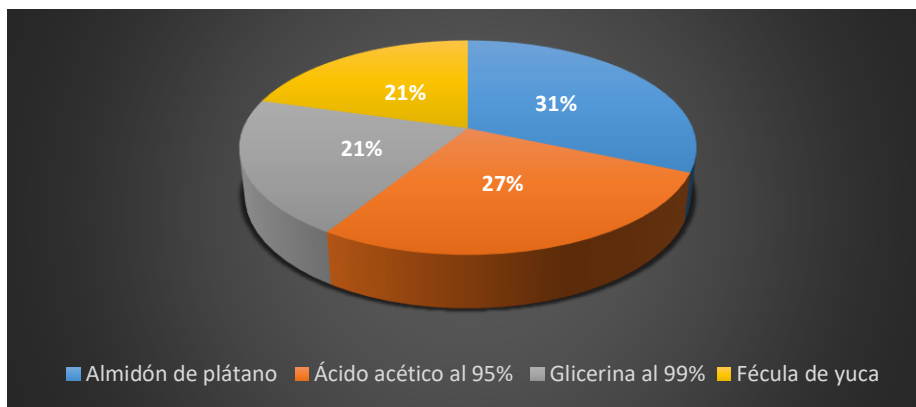
Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Experimentación fase 2

Con el objetivo de evaluar las propiedades mecánicas del plástico biodegradable, se elaboró tres formulaciones dejando constantes las cantidades utilizadas en la formulación 2 de la experimentación fase 1, donde fue variada la cantidad de fécula de yuca.

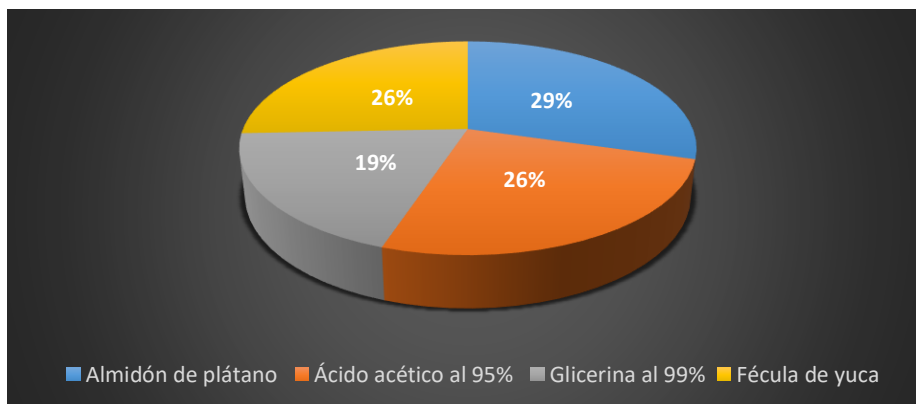
Los porcentajes que conforman las tres formulaciones se detallan a continuación:

Figura 31. **Estructuración de la Formulación 1 (Fase 2)**



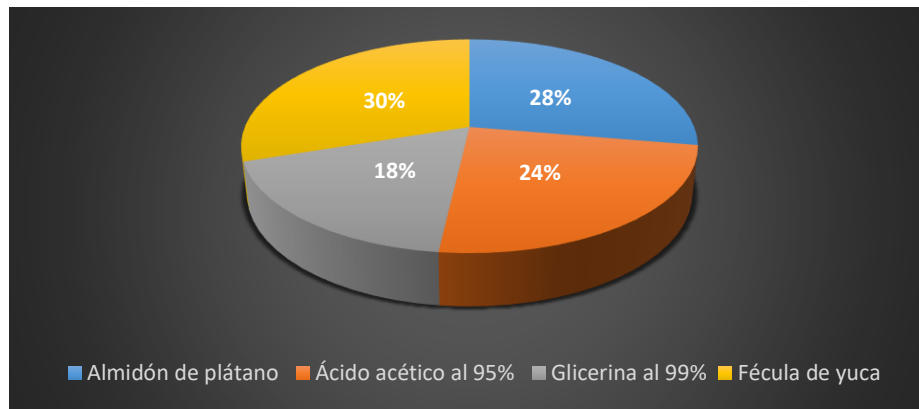
Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2013.

Figura 32. **Estructuración de la Formulación 2 (Fase 2)**



Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2013.

Figura 33. Estructuración de la Formulación 3 (Fase 2)



Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2013.

6.2. Propiedades mecánicas del plástico biodegradable

Se realizó pruebas mecánicas a las tres formulaciones elaboradas en la experimentación fase 2, para verificar la incidencia de la fécula de yuca en las propiedades del material.

6.2.1. Resistencia a la tracción del plástico biodegradable obtenido

Los resultados del ensayo de resistencia a la tracción del plástico biodegradable obtenido con la combinación de almidones de plátano *Musa paradisiaca* y yuca se detallan en la Tabla X.

Tabla X. **Resultados de resistencia a la tracción del plástico biodegradable**

Formulación	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)
1	1.29	0.83	1.07	0.42	0.39
2	1.50	0.94	1.41	0.35	0.25
3	1.19	0.70	0.83	0.52	0.62

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Dureza del plástico biodegradable obtenido

Los resultados del ensayo de dureza se explican m en la Tabla XI.

Tabla XI. **Resultados de la dureza del plástico biodegradable**

Formulación	Medición 1 en Escala Shore A	Medición 2 en Escala Shore A	Promedio	Tipo de Material
1	16	18	17	Material suave con dureza menor a una goma elástica
2	11	16	14	
3	10	10	10	

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Factibilidad ambiental y económica del producto obtenido

Para el estudio de la factibilidad ambiental y económica del producto obtenido se tomó en cuenta varios criterios. Los procedimientos se detallan a continuación:

6.3.1. Factibilidad ambiental

Con base en la evaluación cualitativa del tiempo de degradación del prototipo obtenido, se determinó la factibilidad ambiental del producto. La evaluación se realizó por 40, 60 y 80 días.

A continuación, se presenta evidencia documentada del proceso de degradación.

Figura 34. **Degradación del plato desechable a los 40 días**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Figura 35. **Degradación del plato desechable a los 60 días**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

Figura 36. **Degradación del plato desechable a los 80 días**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular.

6.3.2. **Factibilidad económica**

Para evaluar la factibilidad económica del producto, se realizó una estimación del costo unitario del prototipo. Posteriormente, se comparó con el de un plato de plástico convencional.

La Tabla XII detalla la estimación del costo unitario de un plato desechable de plástico biodegradable basado principalmente en almidón de cáscara de plátano.

Tabla XII. **Estimación del costo unitario**

Recursos	Cantidad	Unidad	Costo
Ácido ascórbico al 99 %	20	Gramos	Q.0.17
Ácido acético al 95 %	20	Mililitros	Q.0.18
Glicerina al 99 %	15	Mililitros	Q.0.13
Fécula de yuca	15	Gramos	Q.0.20
Energía eléctrica	---	---	Q.0.16
	Costo unitario		Q.0.84

Fuente: Elaboración propia.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación propone una metodología a nivel laboratorio para la elaboración de platos desechables de plástico biodegradable basado en un producto de origen natural, como el almidón de la cáscara de plátano, el cual es una vía sustentable para contribuir a la reducción de los residuos sólidos y aporta a la creación de un producto que puede sustituir a los plásticos manufacturados con derivados del petróleo.

El almidón se extrajo de la parte interna de la cáscara (endocarpio) en tiras finas; se utilizó ácido ascórbico al 99 % como agente antioxidante para posteriormente, someterlo a un proceso de deshidratación. Con el uso de la transferencia de calor por convección forzada con un ventilador dentro de un horno se obtuvo un promedio de 23.74 % de almidón de plátano deshidratado, y como consecuencia, se evaporó 76.42 % de líquido durante el proceso.

La materia prima principal del plástico biodegradable es el almidón de la cáscara de plátano (*Musa paradisiáca*), sin embargo, este almidón no puede generar el plástico por sí sólo, por ello, se añadió glicerina al 99 % como agente plastificante y ácido acético al 95 % como modificador químico; ambos combinados para lograr una consistencia plástica, así como también, se utilizó fécula de yuca para obtener rigidez en el material.

Durante la primera fase de experimentación, se obtuvo la formulación 2 como óptima, debido a que se examinó cualitativamente el prototipo y se observó una mayor consistencia y rigidez comparado con los platos elaborados con las formulaciones 1 y 3.

Así mismo, se observó que el plato fabricado con la formulación 1 era demasiado delgado por lo que se desintegró al sacarlo del molde y el manufacturado con la formulación 3 se evaporó en el proceso de secado, por lo tanto, la cantidad utilizada de fécula de yuca efectivamente influyó en las propiedades de material.

Fundamentado en las observaciones anteriores, se decidió utilizar la formulación óptima como base para evaluar la resistencia a la tracción y dureza del plástico biodegradable. Se realiza una segunda fase de experimentación, donde fue variada la cantidad de fécula de yuca en tres formulaciones, con la finalidad de verificar la manera en que la fécula de yuca influye en las propiedades mecánicas del material obtenido.

Se ejecutó la prueba de resistencia a la tracción y se sometió a esfuerzo 9 probetas tipo III, según norma ASTM D 638-03 (3 muestras para cada formulación). Se utilizó como instrumento una prensa artesanal de ensayos, cuyo principio de funcionamiento radica en agregar agua paulatinamente a un recipiente con el fin de simular una carga; ello provoca que la probeta se rompa llegando al punto de máximo esfuerzo. Como resultado, se obtuvo un esfuerzo de 0.62 kg/cm^2 en la formulación 3, siendo el mayor valor dentro de las tres formulaciones realizadas.

Con el análisis de lo anterior, se afirma que la fécula de yuca influye en la resistencia del material y disminuye su tendencia a romperse. Además, el material es capaz de resistir una carga promedio 0.52 kg (1.15 lb) antes de su ruptura.

En la prueba de dureza, se examinó solamente 6 muestras, debido a que una muestra de cada formulación no era apta para el ensayo por su bajo grosor

y superficie irregular. Se ensayó con un durómetro tipo A, según norma ASTM D 2240-15 y se obtuvo como resultado un promedio de 14 puntos en la escala de Shore A.

Se localizó los 14 puntos en la escala de dureza de Shore de la Figura 7, y se confirma que el tipo de material obtenido es suave con una dureza menor a una goma elástica, por lo tanto, la fécula de yuca brinda propiedades de resistencia más no de dureza al producto.

Debido a que no se sabe con certeza en cuánto tiempo se degrada el material obtenido, se estudió cualitativamente el plato desechable producto de la formulación óptima en la experimentación fase 1 durante un lapso de tiempo de 40, 60 y 80 días, en condiciones ambientales normales y se dejó al prototipo a la intemperie dentro de una bolsa plástica cerrada.

En el transcurso del tiempo, se observó que el material se degradó casi totalmente durante los 80 días en dichas condiciones, por lo que el material se degrada de 2 a 3 meses. Basado en lo anterior, se determina que el producto obtenido es ambientalmente factible y que supera fácilmente el rango de degradación de 100 a 1000 años correspondiente a los plásticos convencionales derivados del petróleo.

Por último, se determinó el costo unitario del plato desechable. Se obtuvo como resultado un costo de Q.0.84 por unidad. Con la finalidad de conocer su factibilidad económica, se comparó con el costo unitario de tres productos similares disponibles en el mercado. Se determinó que el producto puede competir con los platos de plástico biodegradable compuesto con resinas bio-basadas y, en consecuencia, su manufactura es económicamente factible.

CONCLUSIONES

1. Se presentó una metodología para extraer el almidón del endocarpio de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) por medio del proceso de deshidratación. Con esto, se obtuvo un promedio de 23.74 % de almidón de plátano deshidratado, lo cual demuestra que fue un procedimiento efectivo.
2. Se estableció como óptima la formulación 2 durante la experimentación fase 1. Con el uso de 98 g de almidón de plátano y 15 g de fécula de yuca, se consiguió la consistencia y rigidez necesarias para conformar los platos desechables deseados.
3. Se evaluó las propiedades mecánicas del material con la variación de la cantidad de fécula de yuca en la formulación óptima de la fase 1. Se consiguió un esfuerzo de 0.62 kg/cm² en la formulación 3 obtenida en la experimentación fase 2. Con base en lo anterior, se concluye que la fécula de yuca influye en la resistencia del material, y disminuye la tendencia a romperse. Además, el material es capaz de resistir una carga promedio 0.52 kg (1.15 lb) antes de su ruptura.
4. Se evaluó la dureza del material y se obtuvo un promedio de 14 puntos en la escala de Shore A. Se consiguió un material suave con una dureza menor a una goma elástica. Por lo anterior, se concluye que la fécula de yuca brinda propiedades de resistencia más no de dureza al producto.

5. El tiempo promedio de degradación, en condiciones ambientales normales, del plato desechable realizado con la formulación óptima de la fase 1 fue de 2 a 3 meses. Por lo que se determina que el producto obtenido es ambientalmente factible y contribuye a la reducción de residuos sólidos.

6. Se calculó el costo unitario del plato desechable, dando como resultado Q.0.84 por unidad, el cual, comparado con el costo unitario de productos similares, se determinó que el producto puede competir con los platos de plástico biodegradable compuesto con resinas bio-basadas. Por lo cual, se concluye que el producto es económicamente factible.

RECOMENDACIONES

1. El almidón tiende a oxidarse en su extracción, se evitó ese problema con el uso de ácido ascórbico al 99 %, por lo que se sugiere hacer lo mismo en la extracción de almidones de otros tipos para estos objetivos.
2. El almidón es propenso a convertirse en azúcares mientras el plátano avanza en su proceso de maduración, debido a ello, se seleccionó plátano verde para obtener la mayor cantidad de almidón, por lo cual, se aconseja realizar el mismo estudio cuando se extraigan almidones de otras fuentes.
3. Para deshidratar el almidón debe emplearse el método de transferencia de calor por convección, ya que, si el aire no circula dentro del horno, las tiras de almidón tienden a quemarse; para evitar este problema se utilizó la convección de aire forzada por un ventilador dentro de un horno. Se sugiere utilizar un método similar al momento de deshidratar otras fuentes de almidón.
4. El presente estudio puede ser una fuente de consulta para elaborar otro tipo de productos como bolsas plásticas, con la modificación de las formulaciones y aditivos, mejorando así, las propiedades y usos del material resultante.

REFERENCIAS

1. Área tecnología. (s.f.). *Ensayo de tracción*.
<https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>.
2. Asesoría Técnica Especializada. (2017). *Tamices*.
<https://www.atecnicagt.com/venta?lightbox=datattem-j2kjbuoo>.
3. ASTM. (2003). *ASTM D638-03 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.
<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D638-03.htm>.
4. ASTM. (2015). *ASTM D 2240-15 Método para prueba estándar para propiedad del caucho, dureza con durómetro*.
<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D2240-15.htm>.
5. Bilgin, E. (2014). *Going Bananas, using banana peels in the production of bio-plastic as a replacement of the traditional petroleum based plastic*.
<https://sites.google.com/site/scidiy/diy-plastic/banana-peel-plastic>.
6. Bordón, E. (2012). *Propiedades del plástico*.
<https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/propiedades-del-plastico-407352.html>.

7. Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., y Peñaloza, S. (Agosto de 2015). Bioplástico a base de la cáscara de plátano. *Revista de Iniciación Científica (RIC)*, 34-37. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/339>.
8. Collet, A. (2004). *Polímeros biodegradables con aplicaciones en suturas quirúrgicas*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3093/34111-4.pdf>.
9. Corchón, L. (2020). *Los polisacáridos*. <https://www.asturnatura.com/articulos/glucidos/polisacaridos.php>.
10. Cornish, M. (1997). *El ABC de los plásticos*. https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=QW8UyW9YO9QC&oi=fnd&pg=PA11&dq=%22Los+pl%C3%A1sticos%22&ots=VECUsjhGeG&sig=thGQewdrchiaQ5bCJ_i76DQ0D8A&redir_esc=y#v=onepage&q=%22Los%20pl%C3%A1sticos%22&f=false.
11. *Diccionario Etimológico Castellano en línea*. (s.f.). <http://etimologias.dechile.net/?poli.mero>.
12. Distribuidora Alcance. (2018). *Suministros institucionales*. <https://www.distribuidoraalcance.com/search/index.php?referrer=1&string=plato&submit.x=0&submit.y=0>.
13. eBay Inc. (2020). Beaker 200 ml. <https://www.ebay.com/itm/152774532393>.

14. Ecured. (s.f.). *Agua destilada*.
https://www.ecured.cu/Agua_destilada.
15. El molino verde. (2020). *Fécula de yuca*.
<https://elmolinoverde.com/productos/fecula-de-yuca-mandioca/>.
16. Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2021). *Horno de convección natural 65 litros Thermo Scientific*.
<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/productos/horno-de-conveccion-natural-65-litros-thermo-scientific-51028112-ogs60>.
17. Gálvez, A. (Mayo de 2016). *Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (Zea mays)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/5102/1/Ana%20Gabriela%20G%C3%A1lvez%20Ar%C3%A9valo.pdf>.
18. García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*.
<https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>.
19. Glamtown. (2018). *Ácido ascórbico*.
<https://glamtown.es/cuidado-facial/5463-solucion-de-acido-ascorbico-al-15-the-ordinary-769915194463>.
20. González, A. (2019). *Cómo cocinar plátano macho*.
<https://www.pinterest.es/pin/515451119836390090/>.

21. Gonzalez, L. (22 de Julio de 2018). La guerra del plástico. *El Periódico*.
<https://elperiodico.com.gt/domingo/2018/07/22/la-guerra-del-plastico/>.

22. Grupo Chedraui. (2018). *Glicerina Natural*.
<https://www.chedraui.com.mx/Departamentos/Farmacia/Medicamentos/Dermatol%C3%B3gicos/Glicerina-Natural-500ml/p/000000000003031526?siteName=Sitio+de+Chedraui>.

23. Guamán, J. (2019). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>.

24. Guede, D. (2013). *Biomecánica y hueso (I): Conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos*.
https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1889-836X2013000100008.

25. Hernández, L., y Vit, P. (11 de Septiembre de 2009). El plátano, un cultivo tradicional con importancia nutricional. *Revista del Colegio de Farmacéuticos del Estado Mérida*, 11-14.
https://www.academia.edu/32367278/El_pl%C3%A1tano_un_cultivo_tradicional_con_importancia_nutricional.

26. Iguardia, C. (2013). *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa sapientum variedad Cavendish)*.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3523.pdf.

27. Infoagro Systems. (s.f.). *El cultivo del plátano*.
https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano__banana_.asp.
28. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). (2022).
<http://www.infoiarna.org.gt/>
29. Instrumentos de laboratorio. (2020). *Agitador magnético*.
<https://www.instrumentodelaboratorio.info/agitador-magnetico/>.
30. Kemik. (2020). *Moldes para cupcakes*.
<https://www.kemik.gt/comprar/bandeja-para-hacer-cupcakes-perfectos-marca-love-bakery/>.
31. La alacena del chef. (2020). *Papel parafinado*.
<https://laalacenadelchef.co/productos/papel-parafinado/>.
32. Labcomercial. (2020). *Probeta graduada de 100 ml clase A*.
<https://www.labcomercial.com/es/probetas-graduadas/1618-probeta-graduada-100ml-clase-a.html>.
33. Ministerio de Agricultura y Recursos Naturales (MARN). (2022).
<https://www.marn.gob.gt/>
34. Ministerio de Economía (MINECO) (2018). *Guatemala. Manufacturas: Materiales plásticos y sus manufacturas*.
https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/materiales_plasticos_y_sus_manufacturas_1.pdf

35. Monares, V. (2017). *Evaluación de tres dosis de fosfito de potasio para prevención de sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis) en el cultivo del plátano (Musa paradisiaca) , en finca "La Vega" , Retalhuleu.* Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7893/1/Documento%20de%20graduacion.pdf>.

36. Orellana, M. (2010). *Administración de la liquidez en empresas que se dedican a la industria de plásticos en Guatemala.* http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3801.pdf.

37. Poma, E. (2017). *Extracción de un biopolímero a partir de la cáscara de banano (Cavendish valery L).* <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/16561/1/Poma%20Cuenca%20CEricka%20Paola.pdf>.

38. QuercusLab. (2014). *Mortero de porcelana.* <https://quercuslab.es/morteros/780-mortero-de-porcelana.html>.

39. Químicos Albor Ltda. (2020). *Ácido acético.* <https://quimicosalbor.com/product/acido-acetico-diluido-3/>.

40. Quixtán, A. (2005). *La gestión de la innovación en empresas manufactureras de productos plásticos para el hogar en Guatemala.* <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/lote01/Quixtan-Andrea.pdf>.

41. Recreus industries S.L. (2021). *¿Qué es la dureza Shore?* <https://recreus.com/es/noticias/aprende-con-recreus/que-es-la-dureza-shore->.

42. Rodríguez, H. (s.f.). *Ensayos de Dureza en los Materiales*.
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>.
43. Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., y Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista de Iniciación Científica (RIC)*, 28-32.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/1815/2625>.
44. Salazar, L. (2008). *Diseño de un sistema de costos estándar en una industria fabricante de tapas plásticas*.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3219.pdf.
45. Saysu hidráulica S.L. (s.f.). *Prensa Hidraulica 100 Ton Mega K-100*.
<https://seysu.es/mega/prensa-hidraulica-100-ton-mega-kp-100/gmx-niv106-con767.htm>.
46. Sistemas de Pesaje S.A. (s.f.). *Balanzas de precisión*.
<https://www.sipesa.com.gt/balanzas-de-precision/>.
47. Tantaleán, G., y Abanto, V. (2019). *Influencia del porcentaje en peso de Carboximetilcelulosa y CaCO₃ en la resistencia mecánica del biopolímero obtenido a base de almidón de cáscara de Musa paradisiaca (plátano)*.
<https://1library.co/document/4yr96kpy-influencia-porcentaje-carboximetilcelulosa-resistencia-mecanica-biopolimero-obtenido-paradisiaca.html?tab=pdf>.
48. Tecnipesa. (2017). *Molino de maíz*.
<http://tecnipesa.net/catalogo-de-productos/molino-de-maiz/>.

49. Thermo Fisher Scientific Inc. (2020). *Brannan™ Termómetro de inmersión parcial para laboratorio relleno Lo Tox*. https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/EU/Brannan/product-images/44_822_0-blue-spirit-lab.jpg-650.jpg.
50. Villalta, A. (2018). *Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango (Mangifera indica L.) a escala laboratorio*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10915/1/Antonio%20Adolfo%20Villalta%20Estrada.pdf>.
51. Zapata, D. (2019). *Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (Musa paradisiaca) y yuca (Manihot esculenta) con gel de sábila (Aloe vera)*. Piura, Perú. <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1586/IND-ZAP-CRI-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
52. Zeaplast. (2012). *Tipos de bioplástico*. <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/tipos-de-bioplasticos+-21>.

APÉNDICES

Apéndice 1. Cálculo del porcentaje de deshidratación de formulación 1 en Experimentación fase 1

Se pelaron 10 plátanos para la formulación 1, cuyos pesos de la cáscara antes y después de pelar se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Pesos de la cáscara de plátano antes y después de pelar

No.	Peso Cáscara de plátano antes de pelar (g)	Peso Cáscara de plátano después de pelar (g)
1	88	81
2	100	86
3	118	102
4	89	84
5	92	85
6	96	83
7	131	117
8	93	85
9	97	88
10	90	86
Total	994	897

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el peso del almidón extraído antes de deshidratar, se resta el peso de la cáscara antes de pelar y el peso de la cáscara después de pelar.

$$\text{Peso inicial} = 994 \text{ g} - 897 \text{ g} = 97 \text{ g}$$

Posterior al proceso de secado, se pesan las tiras de plátano deshidratado, lo cual dio un resultado de 20 g.

Por último, se calcula el porcentaje de deshidratación restando el peso inicial menos el peso final; se divide entre el peso inicial y se multiplica por cien. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ deshidratación} = \left(\frac{97 \text{ g} - 20 \text{ g}}{97 \text{ g}} \right) * 100 = 79.38 \%$$

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2. **Cálculo de la energía eléctrica en el costo unitario del plato desechable**

El costo de la energía eléctrica, se calculó multiplicando la potencia eléctrica del horno de convección por las horas de uso del equipo, este dato se multiplica por el costo del kilowatt-hora y se divide dentro del número de platos que se fabrican en 8 horas de trabajo, asumiendo que se hacen 100 platos en 8 horas de trabajo diarias. El cálculo queda de la siguiente manera:

$$500 \text{ W} * \frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ W}} * 26 \text{ h} = 13 \text{ Kwh} * \frac{Q. 1.23}{\text{Kwh}} = Q. 15.99 \div 100 \text{ platos} = \frac{Q. 0.16}{\text{unidad}}$$

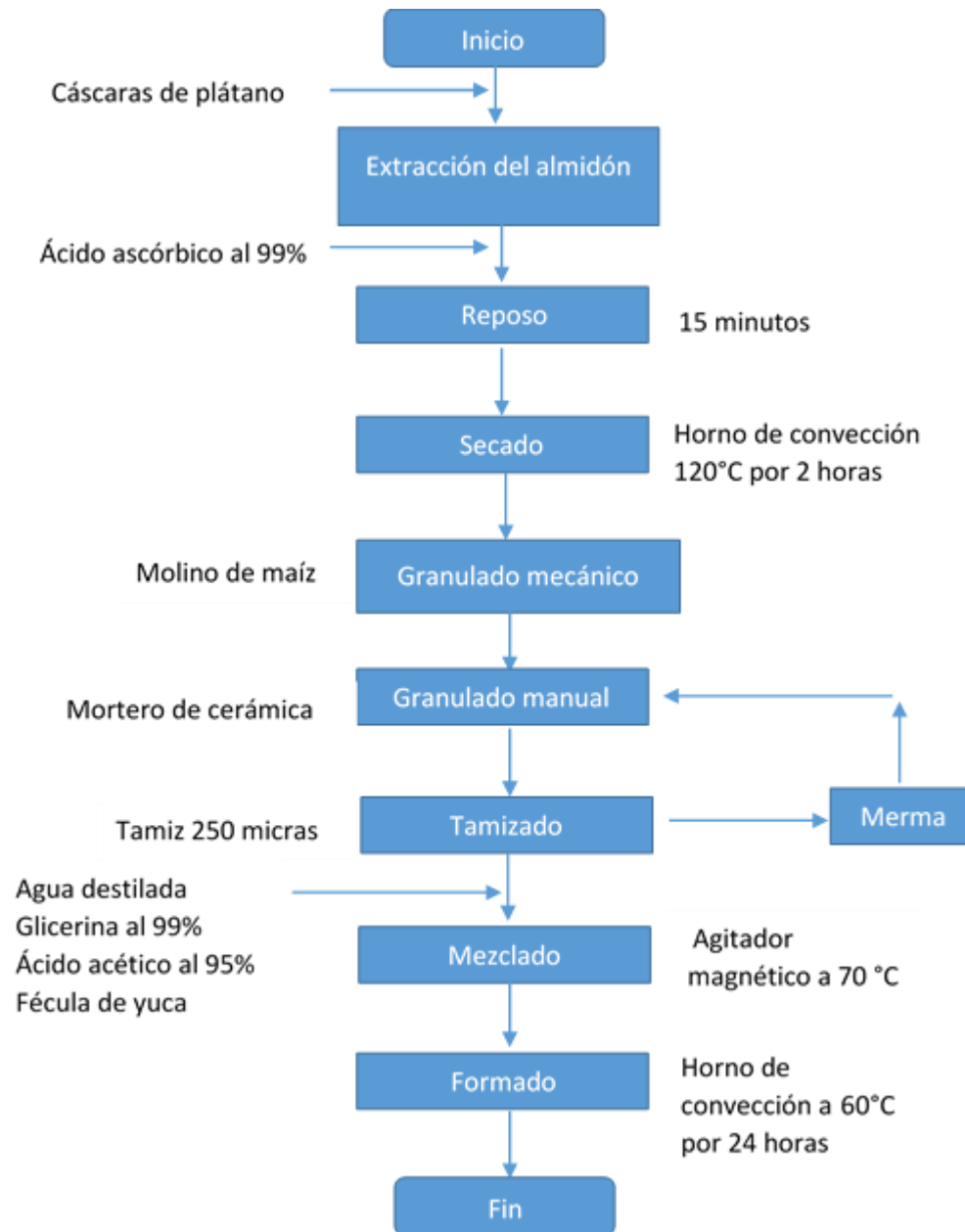
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3. **Cálculo del esfuerzo para la probeta realizada con la formulación 1 durante la Experimentación fase 2**

Se obtuvo una carga promedio de 0.421 kg durante el ensayo y el área de la probeta es de 1.29 cm de largo por 0.83 cm de ancho. Posteriormente, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Esfuerzo } (\sigma) = \frac{0.421 \text{ kg}}{1.29 \text{ cm} * 0.83 \text{ cm}} = 0.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de platos desechables de plástico biodegradable



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. **Vertido de mezclas en moldes para el proceso de formado en Experimentación fase 1**



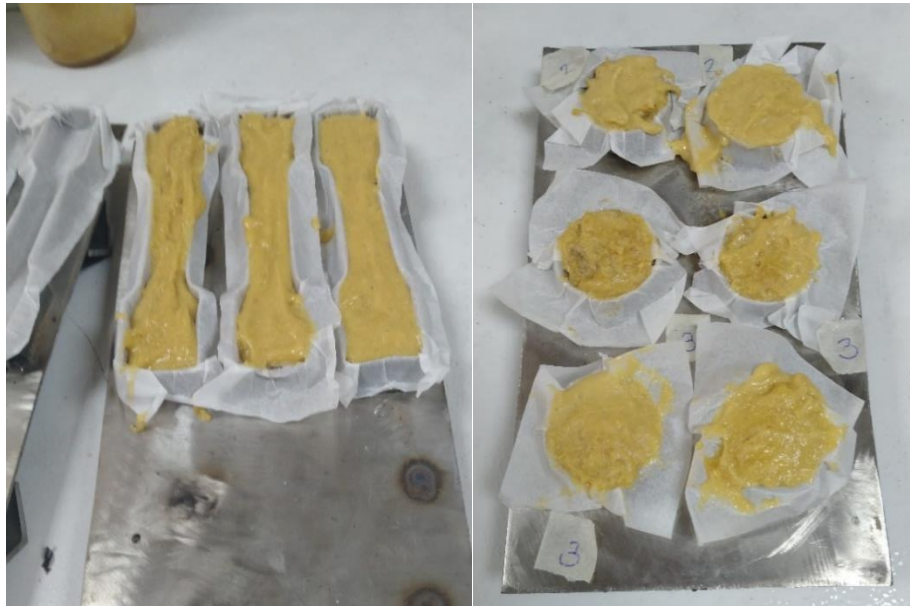
Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Laboratorio de Ingeniería Química, USAC.

Figura 3. **Prototipos luego del proceso de formado en Experimentación fase 1**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Laboratorio de Ingeniería Química, USAC.

Figura 4. **Vertido de mezcla en moldes antes del formado en Experimentación fase 2**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Laboratorio de Ingeniería Química, USAC.

Figura 5. **Probetas luego del proceso de formado en Experimentación fase 2**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Laboratorio de Ingeniería Química, USAC.

Figura 6. **Ensayo de resistencia a la tracción a las probetas tipo III**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 7. **Ensayo de dureza de Shore**




Fuente: [Fotografía de Edgar Pérez]. Guatemala. 2021. Colección particular. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

ANEXO

Anexo 1. Reporte de resultados de ensayos de resistencia a la tracción y dureza de Shore



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



O.T. No. 40866

INFORME No. 19-M

No. 14338

INTERESADO: EDGAR JOSUE PEREZ ESPINOZA
 PROYECTO: TESIS DE MAESTRIA "ELABORACION DE PLATOS DESECHABLES DE PLASTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDON EXTRAIDO DE LA CASCARA DE PLATANO (MUSA PARADISIACA)"
 ASUNTO: ENSAYO DE TENSION Y DUREZA SHORE.
 FECHA: GUATEMALA, 26 DE JULIO DE 2021.

ANTECEDENTES

El estudiante EDGAR JOSUE PEREZ ESPINOZA, CARNE No. 202090292, de la Maestría de Artes de Energía y Ambiente de la Escuela de Estudios de Postgrado, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de tensión y dureza a muestras de cascara de plátano los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "ELABORACION DE PLATOS DESECHABLES DE PLASTICO BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDON EXTRAIDO DE LA CASCARA DE PLATANO (MUSA PARADISIACA)".

RESULTADOS

ESFUERZO					
Formulación	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
1	1.29	0.83	1.07	0.42	0.39
2	1.50	0.94	1.41	0.35	0.25
3	1.19	0.70	0.83	0.52	0.62

DUREZA				
Formulación	Medición 1 en Escala Shore A	Medición 2 en Escala Shore A	Promedio	Tipo de Material
1	16	18	17	Material suave con dureza menor a una goma elástica
2	11	16	14	
3	10	10	10	


Notas: -Por ser el resultado dato de carga última, se recomienda utilizar el factor de seguridad que recomienda el fabricante.
 - El presente informe únicamente es para la muestra identificada en el mismo.
 - Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Atentamente,

M.Sc. Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
Jefe de Metales y Productos


/cbr

SECCIÓN METALES Y PRODUCTOS
MANUFACTURADOS



Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA C.I.I.



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

