



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

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA HARINA CRUDA (*Zea mays*)
COPRODUCTO DE LA MOLIENDA SECA DE MAÍZ MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN
BIOPOLÍMERO COMESTIBLE A NIVEL LABORATORIO**

Meiby Guissela Franco Arredondo

Asesorada por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA HARINA CRUDA (*Zea mays*)
COPRODUCTO DE LA MOLIENDA SECA DE MAÍZ MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN
BIOPOLÍMERO COMESTIBLE A NIVEL LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MEIBY GUISSOLA FRANCO ARREDONDO
ASESORADA POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

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 Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lémus
EXAMINADORA	Inga. Ana Gloria Montes Peña
EXAMINADORA	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
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:

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA HARINA CRUDA (*Zea mays*)
COPRODUCTO DE LA MOLIENDA SECA DE MAÍZ MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN
BIOPOLÍMERO COMESTIBLE A NIVEL LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 8 de julio de 2020.

Meiby Guissela Franco Arredondo

Guatemala 17 de mayo de 2021

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades.

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: **“Evaluación del aprovechamiento de la harina cruda (*Zea mays*) coproducto de la molienda seca de maíz mediante la elaboración de un biopolímero comestible a nivel laboratorio”**, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Meiby Guissela Franco Arredondo**, quien se identifica con el registro académico **2015-03697** y con el CUI **2707 99702 06 14**.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Hilda Piedad Palma de Martini
Asesora

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 30 de agosto de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.024.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo 031-2020, le informo que reunidos los Miembros de la Tema nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Melby Guissela Franco Arredondo**.
Identificado con número de camé: **2707997020614**.
Identificado con registro académico: **201503697**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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


**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA HARINA CRUDA (*Zea mays*)
COPRODUCTO DE LA MOLIENDA SECA DE MAÍZ MEDIANTE LA
ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO COMESTIBLE A NIVEL
LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Hilda Piedad Palma Ramos de Martini, profesional de la Ingeniería Química

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Adela María Marroquín González
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACION
Tribunal de Revisión de Trabajos de Graduación
Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446



C.c.: archivo



Guatemala, 4 de noviembre de 2021.
Ref. EIQ.238.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA HARINA CRUDA (Zea mays) COPRODUCTO DE LA MOLIENDA SECA DE MAÍZ MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO COMESTIBLE A NIVEL LABORATORIO** del(la) estudiante Meiby Guissela Franco Arredondo, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Williams G. Alvarez Mejia, M.Sc., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 633-2021

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 Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA HARINA CRUDA (Zea mays) COPRODUCTO DE LA MOLIENDA SECA DE MAÍZ MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO COMESTIBLE A NIVEL LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **Meiby Guissela Franco Arredondo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A

Dios

Mi padre, por su infinito amor, por estar conmigo en cada momento, darme sabiduría, entendimiento y muchas bendiciones.

Virgen de Fátima

Mi madre, por su infinito amor, por acompañarme en cada paso y muchas bendiciones recibidas.

Mi papá

Aroldo Franco Martínez, por su gran amor, apoyo, paciencia, darme el ejemplo de perseverancia y esfuerzo, eternamente agradecida, te amo.

Mi mamá

Elida Arredondo de Franco, por su gran amor, apoyo, paciencia, darme el ejemplo de ser una mujer virtuosa, perseverante y esforzada, eternamente agradecida, la amo.

Mi hermana

Merlyn Mariolis Franco Arredondo, por apoyarme siempre, paciencia, gratitud y esfuerzo, eternamente agradecida, te amo.

Mis padrinos

Juan Arredondo y Magaly de Arredondo, por todo su apoyo incondicional, cariño, palabras de aliento, por siempre agradecida, los quiero mucho.

Mis tíos y tías

Por su apoyo, paciencia y perseverancia.

Mis amigos y amigas

Marjeory Micheo, Mónica Méndez, Abigail Aguirre, Karol Medina, Andrea Menchú, Gabriela Lainez, Julio Cordón. Infinitas gracias a cada uno por todo el apoyo brindado, su cariño, paciencia, esfuerzo, enseñanzas y amistad incondicional.

Ingenieros

Inga. Hilda Palma, Inga. Adela Marroquín e Ing. Cesar García. Muchas gracias por todo su apoyo, enseñanzas y correcciones.

Licenciada

Licda. Indra Flores. Eternamente agradecida por todo su apoyo brindado, paciencia, enseñanzas, palabras de aliento y correcciones.

Congregación ICM

Por abrirme las puertas de su casa, muy agradecida con las hermanas de la congregación Inmaculado Corazón de María.

AGRADECIMIENTOS A

- Dios** Mi padre, por todas las bendiciones recibidas, ser mi guía, por su misericordia y por acompañarme siempre.
- Virgen de Fátima** Mi madre, por acompañarme en cada paso, bendiciones recibidas y su infinito amor.
- Mi papá** Aroldo Franco Martínez, por su infinito amor y gran apoyo a lo largo de mi vida, por nunca dejarme sola y su gran nobleza, eternamente agradecida, te amo.
- Mi mamá** Elida Arredondo de Franco, por su gran amor, ejemplo de perseverancia y esfuerzo, por nunca dejarme sola y su gran nobleza, eternamente agradecida, la amo.
- Mi hermana** Merlyn Mariolis Franco Arredondo, por su gran apoyo en todo momento, paciencia, esfuerzo y perseverancia, eternamente agradecida, te amo.
- Mis abuelos** Manuel Arredondo, Paula García, Doroteo Franco, Carmen Martínez, con mucho cariño, gracias por todo su apoyo.
- Mis tíos**

Elizabeth, Juan, Manuel, Mynor, por todo su apoyo y palabras de aliento, muy agradecida.

Mis primos y primas

Sindy, Alejandra, Carlos, Jairon, Agmner, con mucho cariño, infinitas gracias por todo su apoyo y paciencia.

Mis amigos y amigas

Marjeory Micheo, Mónica Méndez, Abigail Aguirre, Karol Medina, Andrea Menchú, Gabriela Lainez, Paola Escobar, Julio Cordón, Efraín Quevedo, a cada uno y con mucho cariño, infinitas gracias por estar conmigo, apoyarme, enseñarme, por su paciencia y esfuerzo.

Ingenieros

Inga. Hilda Palma, Inga. Adela Marroquín e Ing. Cesar García. Muchas gracias por todo su apoyo, enseñanzas y correcciones.

Profesionales

Licda. Indra Flores e Ing. José Guerra, con mucho cariño y muy agradecida por todo su apoyo, enseñanzas, correcciones, esfuerzo y paciencia.

Profesionales

Carolina, Andrea, Melany, Wilmer, Sandra, Martín, Manfredy, Juan de Dios, Alfredo, Wilman, Hugo, por todo su apoyo brindado, enseñanzas, paciencia, muy agradecida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXI
HIPÓTESIS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. El maíz.....	7
2.2. Estructura y composición del grano de maíz	7
2.3. Molienda	9
2.4. Molienda seca de maíz.....	10
2.5. Productos obtenidos de la molienda seca de maíz	10
2.5.1. Trozos de maíz (<i>hominy grits</i>)	10
2.5.2. Sémolas de maíz para expandidos.....	10
2.5.3. Harina de maíz precocida (Sémola de maíz precocida).....	11
2.5.4. Sémolas de maíz para cervecería	11
2.5.5. Harina fina de maíz.....	11
2.5.6. Harina zootécnica o harina cruda (<i>hominy feed</i>)	11
2.6. Polímero	12
2.7. Clasificación de los polímeros	12

2.7.1.	Polímeros sintéticos	12
2.7.1.1.	Polímeros no biodegradables	12
2.7.1.2.	Polímeros compuestos o reforzados	13
2.7.2.	Polímeros naturales o biopolímeros	15
2.7.2.1.	Biopolímeros naturales.....	16
2.7.2.2.	Biopolímeros sintéticos.....	16
2.8.	Clasificación de materiales poliméricos.....	17
2.8.1.	Termoplásticos	17
2.8.2.	Termorrígidos	18
2.8.3.	Elastómeros	19
2.9.	Bioplásticos	20
2.10.	Tipos de bioplásticos.....	22
2.10.1.	Bioplásticos de base biológica	22
2.10.2.	Bioplásticos de base renovable.....	22
2.10.3.	Bioplástico biodegradable	22
2.10.4.	Bioplástico compostable.....	23
2.11.	Biodegradabilidad	23
2.12.	Métodos de procesamiento de polímeros para la producción de materiales desechables o empaques	25
2.12.1.	Extrusión	26
2.12.2.	Moldeo por soplado.....	26
2.12.3.	Moldeo por inyección	26
2.12.4.	Conformado al vacío o termoformado	26
2.12.5.	Calandrado.....	27
2.12.6.	Moldeo por compresión	27
2.12.7.	Moldeo por transferencia.....	27
2.12.8.	Colado.....	27
2.13.	Propiedades mecánicas de los polímeros.....	28
2.13.1.	Esfuerzo de tracción.....	28

2.13.2.	Esfuerzo de compresión	29
2.13.3.	Esfuerzo de flexión	29
2.14.	Propiedades químicas de los polímeros	30
2.14.1.	Temperatura de degradación.....	30
2.14.2.	Temperatura de fusión.....	30
2.14.3.	Temperatura de transición vítrea	31
2.15.	Aditivos	31
2.15.1.	Plastificante	31
2.15.2.	Espesantes y gelificantes	32
2.16.	Métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional.....	33
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	35
3.1.	Variables.....	35
3.1.1.	Variables de operación	35
3.1.2.	Variables de proceso	35
3.2.	Delimitación del campo de estudio	37
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	38
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y reactivos).....	38
3.4.1.	Equipo	38
3.4.1.1.	Instrumentos de medición.....	38
3.4.1.2.	Instrumentos auxiliares.....	39
3.4.2.	Cristalería	39
3.4.3.	Reactivos	39
3.4.4.	Equipo de protección personal	39
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	40
3.5.1.	Técnica cualitativa	40
3.5.2.	Técnica cuantitativa	40

3.6.	Recolección y ordenamiento de datos	41
3.6.1.	Formulación para la elaboración del biopolímero comestible	42
3.6.2.	Pruebas de moldeo al biopolímero comestible en forma de plato desechable mediante el proceso de termocompresión.....	42
3.6.3.	Pruebas de cocción del biopolímero comestible	43
3.6.4.	Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido utilizando los métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional.....	43
3.6.4.1.	Determinación del porcentaje de humedad, AOAC M.14.003 13 ^a 1980 ...	43
3.6.4.2.	Determinación del porcentaje de grasa, AOAC 2003.05 18 ^a edición 2006	44
3.6.4.3.	Determinación del porcentaje de proteína por combustión, AOAC 992.23.	46
3.6.4.4.	Determinación del porcentaje de cenizas, AOAC 08-01 8 ^a ed 1983.....	47
3.6.4.5.	Determinación de actividad de agua, AOAC 978.18	48
3.6.5.	Análisis microbiológico al biopolímero comestible obtenido utilizando los métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional.....	48
3.6.5.1.	Recuento de enterobacterias, AOAC 2003.01	49

3.6.6.	Evaluación sensorial al biopolímero comestible	50
3.6.7.	Degradación del biopolímero comestible	50
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	51
3.8.	Análisis estadístico	56
3.8.1.	Medidas de tendencia central	56
3.8.2.	Medidas de dispersión o variabilidad	57
3.8.2.1.	Desviación estándar	57
3.8.2.2.	Varianza	58
3.8.3.	Análisis de varianza, ANOVA	58
3.8.3.1.	Suma de cuadrados de los tratamientos (corridas)	59
3.8.3.2.	Suma de los cuadrados del error	59
3.8.3.3.	Suma total de cuadrados	60
3.8.3.4.	Promedio de los cuadrados	60
3.8.3.5.	F (calculada)	61
3.9.	Plan de análisis de los resultados	61
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipos de variables	61
3.9.2.	Programas a utilizar para el análisis de datos	61
3.9.2.1.	Microsoft Office Excel 2010	62
3.9.2.2.	Microsoft Office Word 2010	62
4.	RESULTADOS	63
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	67
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77

BIBLIOGRAFÍA..... 79
APÉNDICES.....83
ANEXO..... 113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de la estructura del grano de maíz	9
2.	Fracción de amilosa de la molécula de almidón.....	15
3.	Fracción de amilopectina de la molécula de almidón	15
4.	Estructura química de la celulosa	16
5.	Estructura general de los PHA, nomenclatura y símbolo según la longitud y posición de la cadena lateral (R).....	17
6.	Esfuerzo de tracción.....	28
7.	Esfuerzo de compresión.....	29
8.	Esfuerzo de flexión.....	30
9.	Estructura química general del Glicerol (FA: ácido graso)	32

TABLAS

I.	Composición química de los granos de maíz dentados amarillos y blancos.....	8
II.	Polímeros no biodegradables.....	13
III.	Materiales compuestos reforzados con fibras. Tipo de matriz polímero	14
IV.	Materiales poliméricos termoplásticos.....	18
V.	Materiales poliméricos termorrígidos.....	19
VI.	Materiales poliméricos elastómeros	20

VII.	Posicionamiento de los plásticos de base biológica frente a los petroquímicos y los plásticos biodegradables frente a los no biodegradables	21
VIII.	Hidrocoloides alimenticios	33
IX.	Definición de las variables del procedimiento experimental para la formulación del biopolímero	36
X.	Definición de las variables del procedimiento experimental para el proceso de moldeo por termocompresión.....	36
XI.	Definición de las variables del procedimiento experimental para el proceso de cocción para el biopolímero comestible	36
XII.	Definición de las variables del procedimiento experimental para el proceso de degradación para el biopolímero comestible	37
XIII.	Formulación para la elaboración del biopolímero comestible	51
XIV.	Temperatura, presión y tiempo para el proceso de moldeo por termocompresión	52
XV.	Tiempo de cocción del biopolímero comestible medido cada 5 minutos	52
XVI.	Contenido de fibra neutrodetergente de la harina cruda de maíz (<i>Zea mays</i>) y del biopolímero comestible obtenido	53
XVII.	Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido	53
XVIII.	Análisis microbiológico al biopolímero comestible	54
XIX.	Evaluación sensorial al biopolímero comestible	54
XX.	Evaluación de degradación al biopolímero comestible expuesto al medio ambiente	55
XXI.	Evaluación de degradación al biopolímero comestible expuesto en agua.....	55
XXII.	Análisis de varianza, ANOVA	59
XXIII.	Formulación óptima para la elaboración del biopolímero comestible....	63

XXIV.	Temperatura, presión y tiempo óptimos para el proceso de moldeo por termocompresión	63
XXV.	Tiempo de cocción óptimo del biopolímero comestible	63
XXVI.	Contenido de fibra neutrodetergente de la harina cruda de maíz (<i>Zea mays</i>) y del biopolímero comestible obtenido	64
XXVII.	Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido	64
XXVIII.	Análisis microbiológico al biopolímero comestible	64
XXIX.	Evaluación sensorial al biopolímero comestible	65
XXX.	Evaluación de degradación al biopolímero comestible.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a_w	Actividad de agua
cm	Centímetro
°C	Grados Celsius
g	Gramos
psi	Libra por pulgada cuadrada
ml	Milímetro
min	Minuto
UFC/g	No. De colonias contadas por dilución utilizada
mh	Peso de la caja de aluminio con la muestra húmeda
ms	Peso de la caja de aluminio con la muestra seca
m	Peso de la muestra
c	Peso del crisol
cf	Peso del crisol con la ceniza después de calcinar
ci	Peso del crisol con la muestra antes de calcinar
v	Peso del vaso
vg	Peso del vaso con la grasa
%C	Porcentaje de ceniza
%G	Porcentaje de grasa
%H	Porcentaje de humedad
%N	Porcentaje de nitrógeno
%P	Porcentaje de proteína
t	Tiempo

GLOSARIO

Actividad de agua	Parámetro relacionado con el contenido de agua libre disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad química y enzimática durante la conservación del alimento. Su valor numérico se utiliza para predecir la estabilidad y la vida útil de un producto.
Análisis proximal	Llamado también análisis químico bromatológico, son procedimientos fisicoquímicos que determinan en un alimento el contenido de humedad, grasa, proteína, fibra cruda, carbohidratos y ceniza, indicando el valor nutritivo del producto.
AOAC	Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales.
BHT	Butilhidroxitolueno.
Biodegradación	Capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, cuyo mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos, puede medirse por ensayos estándares en un periodo específico de tiempo.

Bioplástico	Se refiere al origen biológico o al carácter biodegradable de un plástico.
Biopolímero	Llamados polímeros renovables, se derivan de fuentes biológicas como plantas, bacterias, desechos agrícolas o se sintetizan químicamente a partir de unidades de monómeros biológicos como azúcares, aminoácidos, grasas, aceites naturales y nucleótidos.
Ceniza	Fracción inorgánica presente en un alimento que queda después de calcinar la materia orgánica, representando la composición de los minerales. Las cenizas normalmente no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes.
Enterobacterias	Constituyen una familia grande y diversa de bacilos gramnegativos, que pertenecen tanto a las formas de vida libre como a la flora normal de seres humanos y animales. Crecen rápidamente bajo condiciones aerobias y anaerobias.
Fibra	La fibra está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales, como la celulosa, la hemicelulosa, pectinas y lignina que no son aprovechados metabólicamente por los organismos monogástricos, incluyendo al hombre.

Grasa	Los aceites vegetales son principalmente triglicéridos de ácidos grasos. Esto significa que tres moléculas de ácidos grasos reaccionan con una molécula de glicerol, formando una molécula de aceite o triglicérido, por lo que los triglicéridos son ésteres de glicerol y ácidos grasos
Humedad	Medida del contenido de agua que poseen los alimentos. Factor determinante en la descomposición de los alimentos, ya que influye en su estabilidad durante el almacenamiento, puesto que puede favorecer el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática.
Polímero	Moléculas de alto peso molecular que generalmente consisten en varias unidades estructurales unidas por enlaces covalentes. Se obtienen a través de la reacción química de compuestos moleculares pequeños llamados monómeros.
Proteína	Las proteínas son polipéptidos que tienen más de 30 a 50 aminoácidos, estos últimos son ácidos carboxílicos que contienen una función amina. Un enlace amida entre la función de ácidos carboxílico de un aminoácido y el nitrógeno del amino de otro se conoce como enlace peptídico.
USP	Farmacopea de Estados Unidos.

RESUMEN

El proceso para la evaluación de una formulación experimental adecuada en la elaboración de un biopolímero comestible consistió en la integración de harina cruda de maíz (*Zea mays*), glicerina, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT) y agua purificada, mezclados en distintas proporciones con la finalidad de obtener una óptima formulación. Se realizó un análisis de fibra neutrodetergente a la materia prima y al producto terminado, indicando la presencia de fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina).

Se realizó un análisis proximal evaluando su contenido nutricional mediante la presencia de humedad, grasa, ceniza, proteína y actividad de agua, así mismo se llevó a cabo un análisis microbiológico de enterobacterias para detectar o descartar la presencia de microorganismos patógenos presentes en el producto terminado. Mediante una evaluación sensorial se evaluó el aroma, color, apariencia, textura y sabor del producto. Por último, se evaluó la degradación del biopolímero terminado.

Se colocó en un recipiente de acero inoxidable, por separado y agitando por 1 minuto con 30 segundos la cantidad establecida de harina cruda, goma xantana y butilhidroxitolueno (BHT), obteniendo la mezcla de ingredientes secos, posteriormente, utilizando un segundo recipiente de acero inoxidable se colocó la cantidad establecida de glicerina y agua purificada, se mezcló por 2 minutos obteniendo la mezcla de ingredientes húmedos.

Por último, se colocó los ingredientes secos sobre los húmedos y se mezcló por 2 minutos hasta obtener una masa de consistencia adecuada. Se llevó a cabo

pruebas de moldeo por termocompresión estableciendo la temperatura, presión y tiempo óptimo para la elaboración del biopolímero en forma de plato desechable, posteriormente se evaluó el tiempo necesario de cocción del biopolímero utilizando un horno convencional a temperatura constante de 101°C.

Para determinar el contenido de humedad, grasa, ceniza, proteína, actividad de agua y análisis microbiológico de enterobacterias se consultó los métodos oficiales de análisis de la AOAC (Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales) Internacional. Se entregó al evaluador sensorial una muestra del producto terminado y se evaluó el aroma, color, apariencia, textura y sabor. La degradación del biopolímero terminado consistió en exponer muestras en dos medios, al medio ambiente y en medio acuoso, dicho análisis se llevó a cabo por un mes, midiendo la pérdida de masa del producto cada 5 días.

Se obtuvo una formulación óptima utilizando las siguientes cantidades de cada componente: 58,04g harina cruda de maíz (*Zea mays*), 1g de goma xantana, 0,02g de butilhidroxitolueno (BHT), 13,66g de glicerina y 27,28g de agua purificada, se determinó que las condiciones óptimas del proceso de moldeo por termocompresión fueron a 90°C, 70psi y 1 minuto con 26 segundos, así mismo un tiempo de cocción de 45 minutos. Se obtuvo un contenido de fibra neutrodetergente de 41,18 % a la materia prima y un 43,94 % al producto terminado.

Se obtuvo del análisis proximal una media de porcentaje de humedad de 19,06 %, grasa 5,45 %, ceniza 1,78 %, proteína 8,03 % y actividad de agua 0,68, se descartó la presencia de microorganismos patógenos presentes en el biopolímero terminado obteniendo <10UFC/g, indicando con ello la ausencia de enterobacterias. Al realizar la evaluación sensorial al producto se obtuvo una calificación de 4 para aroma, 5 color, 5 apariencia, 4 textura y 3 sabor.

Se determinó de la evaluación de degradación que en medio acuoso la pérdida de masa es más efectiva, siendo la masa del biopolímero inicial para cada medio de 62g, la masa final expuesta al medio ambiente fue de 58,43g y su porcentaje de masa perdida de 5,76 %, en medio acuoso fue de 47,81g y su porcentaje de masa perdida de 22,89 %.

OBJETIVOS

General

Evaluar la formulación y elaboración de un biopolímero comestible a partir de la harina cruda de maíz (*Zea mays*) para ser utilizado como plato desechable.

Específicos

1. Evaluar la formulación para la elaboración del biopolímero utilizando harina cruda de maíz (*Zea mays*), glicerina, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT) y agua.
2. Determinar la temperatura, presión y tiempo para el moldeo del biopolímero en forma de plato desechable mediante el proceso de termocompresión.
3. Determinar el tiempo de cocción del biopolímero comestible utilizando un horno convencional de laboratorio a temperatura constante de 101°C medida cada 5 minutos.
4. Evaluar el contenido de fibra neutrodetergente del biopolímero comestible obtenido y compararlo con el contenido inicial de la materia prima.
5. Caracterizar, mediante un análisis proximal, al biopolímero comestible obtenido mediante los métodos oficiales establecidos por la AOAC.

6. Caracterizar, mediante un análisis microbiológico, al biopolímero comestible obtenido mediante los métodos oficiales establecidos por la AOAC.
7. Desarrollar una evaluación sensorial al biopolímero comestible obtenido.
8. Evaluar la degradabilidad del biopolímero comestible obtenido mediante la pérdida de masa, exponiendo la muestra al medio ambiente y otra en medio acuoso, determinando la pérdida de masa cada 5 días por un mes.

Hipótesis

Hipótesis conceptual

La harina cruda (*Zea mays*) coproducto de la molienda en seco de maíz, es posible utilizarla como materia prima para la elaboración de un biopolímero, adicionando aditivos naturales con la finalidad de obtener un producto alimenticio y además un sustituto de los plásticos convencionales.

Hipótesis nula

- Ho: no existe diferencia significativa entre las medias de la proporción de la harina cruda de maíz, glicerina, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT) y agua purificada, para la elaboración de un biopolímero capaz de ser utilizado como producto alimenticio y un sustituto de los plásticos convencionales.
- Ho: no existe diferencia significativa entre la pérdida de masa del biopolímero comestible en función del tiempo seleccionado de exposición al medio ambiente.
- Ho: no existe diferencia significativa entre la pérdida de masa del biopolímero comestible en función del tiempo seleccionado de exposición en agua.

Hipótesis alterna

- H1: existe diferencia significativa entre las medias de la proporción de la harina cruda de maíz, glicerina, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT) y

agua purificada, para la elaboración de un biopolímero capaz de ser utilizado como producto alimenticio y un sustituto de los plásticos convencionales.

- H1: existe diferencia significativa entre la pérdida de masa del biopolímero comestible en función del tiempo seleccionado de exposición al medio ambiente.
- H1: existe diferencia significativa entre la pérdida de masa del biopolímero comestible en función del tiempo seleccionado de exposición en agua.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los plásticos convencionales tienen una importancia evidente en la vida cotidiana de las personas debido a la gran versatilidad en sus aplicaciones, la mayor parte de estos polímeros disponibles en el mercado se obtienen a partir de materia prima proveniente de fuentes fósiles, siendo recursos no renovables y por ende poseen una dificultad de degradación en el medio ambiente.

Ante esta situación se ha implementado el desarrollo de plásticos biodegradables mediante el uso de polímeros a partir de fuentes renovables, evaluando una alternativa atractiva para mantener el desarrollo sustentable a nivel mundial, conservando y aprovechando de manera racional los recursos naturales y protección de los ecosistemas.

La producción de bioplásticos implica la reducción de gases de efecto invernadero, disminución de la acumulación de los desechos sólidos que se degradan muy lentamente en el ambiente y la reducción de la dependencia en el uso de recursos de origen fósil para la generación de plástico, por ello los materiales biodegradables se producen a partir de biopolímeros naturales de origen animal (colágeno y gelatina), origen marino (quitina y quitosano), origen agrícola (lípidos (grasas) e hidrocoloides (proteínas y polisacáridos)) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)).

En esta investigación se pretende desarrollar experimentalmente un biopolímero comestible utilizando como materia prima principal la harina cruda de maíz (*Zea mays*), la cual es obtenida mediante el proceso de molienda en

seco del maíz, reforzando sus propiedades mecánicas con la adición de componentes químicos de origen natural, con el fin de no afectar en gran medida la estructura química del biopolímero, haciendo que este pueda degradarse en un lapso de tiempo estimado de aproximadamente 6 meses.

Como metodología evaluativa para los resultados de la investigación se propuso una formulación para la elaboración del biopolímero comestible, la temperatura, presión y tiempo para el proceso de moldeo por termocompresión, así mismo el tiempo de cocción, se evaluó el contenido de fibra neutrodetergente al biopolímero obtenido y se comparó con el contenido inicial de la materia prima.

Se llevó a cabo un análisis proximal con base en los métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional al producto terminado, donde se determinó el porcentaje de humedad, de grasa, de ceniza, de proteína y actividad de agua, al mismo se le realizó un análisis microbiológico con base en los métodos oficiales de análisis de la AOAC Internacional, evaluando el recuento de enterobacterias, siendo los métodos AOAC los más apropiados debido a que cumplen con lo establecido por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA), la cual exige que los paneles de química alimentaria se adhieran a estrictas pautas federales para mantener el área de seguridad alimenticia.

Por último, se llevó a cabo una evaluación sensorial al producto terminado y una evaluación de degradación al mismo, estableciendo con todos los análisis la calidad del biopolímero.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad los bioplásticos están constituyendo una amplia familia de materiales plásticos derivados de materias primas renovables y biodegradables. El creciente interés por el uso de estos materiales radica en los beneficios que ofrecen desde un punto de vista medioambiental, ya que permiten reducir la dependencia de materias primas de origen fósil, así como las emisiones de gases invernadero a la atmósfera al final de su vida útil.

Se han realizado los siguientes estudios sobre la obtención de materiales poliméricos provenientes de fuentes renovables, esto como alternativa a los plásticos convencionales

En julio de 2018, en la Universidad Cesar Vallejo, se realizó una investigación titulada *Fabricación de vajilla comestibles a partir de biopolímeros de yuca (Manihot esculenta) y sábila (Aloe vera)*. El objetivo consistió en elaborar vajillas comestibles que al transcurrir el tiempo puedan reemplazar al plástico¹.

Los resultados revisados indicaron que es posible fabricar una vajilla comestible a partir de biopolímeros de yuca y sábila, teniendo características nutricionales como proteínas, vitaminas y minerales.

¹ PRETELL ROJAS, Marisol. *Fabricación de vajilla comestibles a partir de biopolímeros de yuca (Manihot esculenta) y sábila (Aloe vera)*. <https://docplayer.es/111237001-Facultad-de-ingenieria.html>. Consulta: 11 de junio de 2019.

En noviembre de 2011, se realizó una investigación titulada *Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique*. El objetivo consistió en desarrollar un material a base de harina de yuca, para su aplicación como empaque de alimentos, en el cual se empleó glicerol USP con pureza del 99 % como plastificante².

Los resultados revisados indicaron que se desarrolló un bioplástico semirrígido a base de harina de yuca cuyas propiedades mecánicas, térmicas y de adsorción de agua lo hacen técnicamente factible para su aplicación como empaque de alimentos.

En octubre de 2010, se publicó un artículo titulado *Efecto del tiempo de secado, concentración del plastificante y tamaño de partícula en la fuerza de ruptura de materiales semirrígidos basados en harina termoplástica de yuca*, cuyo objetivo consistió en la producción y caracterización de empaques termoformados biodegradables a partir de harina de yuca, fibra de fique y plastificante³.

Los resultados revisados indicaron que las muestras con un contenido del 15 % de plastificante, mayor tamaño de partícula y alto tiempo de secado, presentaron mayor fuerza ante la ruptura generada por esfuerzos de tensión.

² NAVIA PORRAS, Diana Paola. *Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/8845/TESIS%20MAESTR%c3%8dA%20Diana%20Navia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consulta: 11 de junio de 2019.

³ VILLADA, Héctor; NAVIA Diana; MOSQUERA, Silvio. *Efecto del tiempo de secado, concentración de plastificante y tamaño de partícula en la fuerza de ruptura de materiales semirrígidos basados en harina termoplástica de yuca*. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA288689190&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=20112769&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E586340fe>. Consulta: 11 de junio de 2019.

En enero de 2015, se realizó una investigación titulada *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. El objetivo consistió en elaborar un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz a escala laboratorio, dicho polímero fue la base para elaborar dos prototipos de material de empaque: película y bandeja⁴.

Los resultados obtenidos indicaron que es posible elaborar un bioplástico de película, pero no uniforme si se compara con un plástico común, por otra parte, no se pudo obtener un prototipo en forma de bandeja que fuera satisfactorio.

En diciembre de 2016, se realizó una investigación titulada *Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón*, cuyo objetivo consistió en elaborar una película bioplástica con el fin de optimizar las propiedades mecánicas, las cuales fueron mejoradas con diferentes cantidades de plastificante⁵.

Los resultados revisados indicaron que es posible elaborar una película bioplástica a partir de almidón de maíz mejorando sus propiedades mecánicas con una concentración óptima de almidón y glicerina.

En septiembre de 2006, se publicó un artículo titulado *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca*. El objetivo consistió en elaborar un polímero biodegradable a partir de almidón de

⁴ GARCÍA BARRERA, Alma Verónica. *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>. Consulta: 11 de junio de 2019.

⁵ NARVÁEZ GUERRERO, María Alejandra. *Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón*. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6299>. Consulta: 11 de junio de 2019.

yuca al procesar mezclas de almidón modificado con glicerina y agua como plastificantes⁶.

Los resultados revisados indicaron que es posible obtener un polímero biodegradable con mezclas de almidón modificadas y plastificantes, utilizando un molino abierto y una extrusora de monohusillo.

En julio de 2008, se publicó un artículo titulado *Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: preliminares*. El objetivo consistió en emplear fibras cortas de fique como material de refuerzo de una matriz termoplástica de almidón nativo de yuca⁷.

Los resultados revisados indicaron que el esfuerzo fue mayor para el compuesto con 10 % de fibra, mientras que con 15 y 20 % disminuyó, la elongación disminuyó también con el incremento del contenido de fibra.

En noviembre de 2017, se realizó una investigación titulada *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir de maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado*. El objetivo consistió en desarrollar y caracterizar físicamente bandejas biodegradables con fibras y almidón por el método de termoprensado⁸.

⁶ RUIZ AVILÉS, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca*. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/27>. Consulta: 11 de junio de 2019.

⁷ LUNA Gabriela; VILLADA, Héctor. *Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: preliminares*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/13050/13744>. Consulta: 11 de junio de 2019.

⁸ DÍAZ CÁRDENAS, Ximena Janeth. *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir de maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado*. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6055/1/AGI-2017-021.pdf>. Consulta: 11 de junio de 2019.

Los resultados revisados indicaron que la adición de fibra a la matriz polimérica redujo las propiedades mecánicas como dureza, tensión y fracturabilidad de la bandeja, debido a la carencia de compuesto celulósico en la matriz.

En mayo de 2016, se realizó una investigación titulada *Elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón extraído del maíz (Zea mays)*, cuyo objetivo consistió en elaborar un plástico biodegradable a partir de almidón extraído de maíz, empleando dos plastificantes: glicerina y urea, modificando la temperatura del procedimiento y proporción de los componentes de la mezcla⁹.

Los resultados revisados indicaron que es posible elaborar un bioplástico añadiendo 10 % de almidón y 90 % e plastificantes (agua, glicerina y urea).

⁹ GÁLVEZ ARÉVALO, Ana Gabriela. *Elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón extraído del maíz (Zea mays)*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5102/1/Ana%20Gabriela%20G%C3%A1lvez%20Ar%C3%A9valo.pdf>. Consulta: 11 de junio de 2019.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El maíz

“El maíz (*Zea mays*), miembro de la familia de las gramíneas *Poaceae* (sinónimo *Gramineae*), es el cereal más importante de la dieta del ser humano en América Latina y el segundo cereal cultivado más abundante en todo el mundo”¹⁰.

El maíz es una planta anual con desarrollo vegetativo dotada de un amplio sistema radicular fibroso, la cual se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada cuya flor pistilada (hembra) y la flor estaminada (masculina) se encuentran localizadas en diferentes estructuras de la misma.¹¹

2.2. Estructura y composición del grano de maíz

El grano de maíz es cariósido, una única semilla donde la cubierta de la fruta se adhiere fuertemente a la semilla, Figura 1. El núcleo del grano está formado por el pericarpio, germen y endospermo constituyendo típicamente el 6 % - 8 %, 12 % y 82 % del peso de grano seco, respectivamente.

Pericarpio. El pericarpio protege el grano y resiste la penetración del agua, una vez que se rompe, el agua puede moverse rápidamente hacia el grano de maíz, por lo tanto, los granos astillados, rotos o agrietados se cuecen fácilmente y pierden sus sólidos solubles. El pericarpio contiene principalmente ceniza, fibra y aceite con muy poco almidón o proteína (Rooney, 2007).

Endospermo. En el endospermo se presenta el contenido de almidón, siendo más alto en las células del endospermo harinoso sin embargo disminuye a medida que aumenta el contenido de proteínas. El tamaño y la forma de los gránulos de almidón cambian de gránulos pequeños, poliédricos con hendiduras en el endospermo duro, a gránulos esféricos grandes en las células del endospermo harinoso.

¹⁰ KIPLE, Kenneth; CONEË ORNELAS, Kriemhild. *The Cambridge World History of Food*. p. 45.

¹¹ FAO. *El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N°25*. <http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm>. Consulta: 08 de mayo de 2019.

Germen. El germen aporta el 9,5 -12% del peso total del grano y se localiza en la parte inferior del mismo, es rico en aceite, azúcares, vitaminas y minerales con poco almidón.

El pericarpio y las células del endospermo duro tienen el mayor contenido de proteínas (15-50%), mientras que las células del endospermo harinoso central contienen 4-5% de proteínas. El endospermo contiene la mayor parte del almidón y el 70% o más de la proteína. La fibra y la ceniza se concentran en el pericarpio, y el germen contiene niveles más altos de grasa y proteína. La aleurona constituye una capa única de células que contiene grandes cantidades de aceite, proteínas, minerales, cenizas, vitaminas y enzimas.¹²

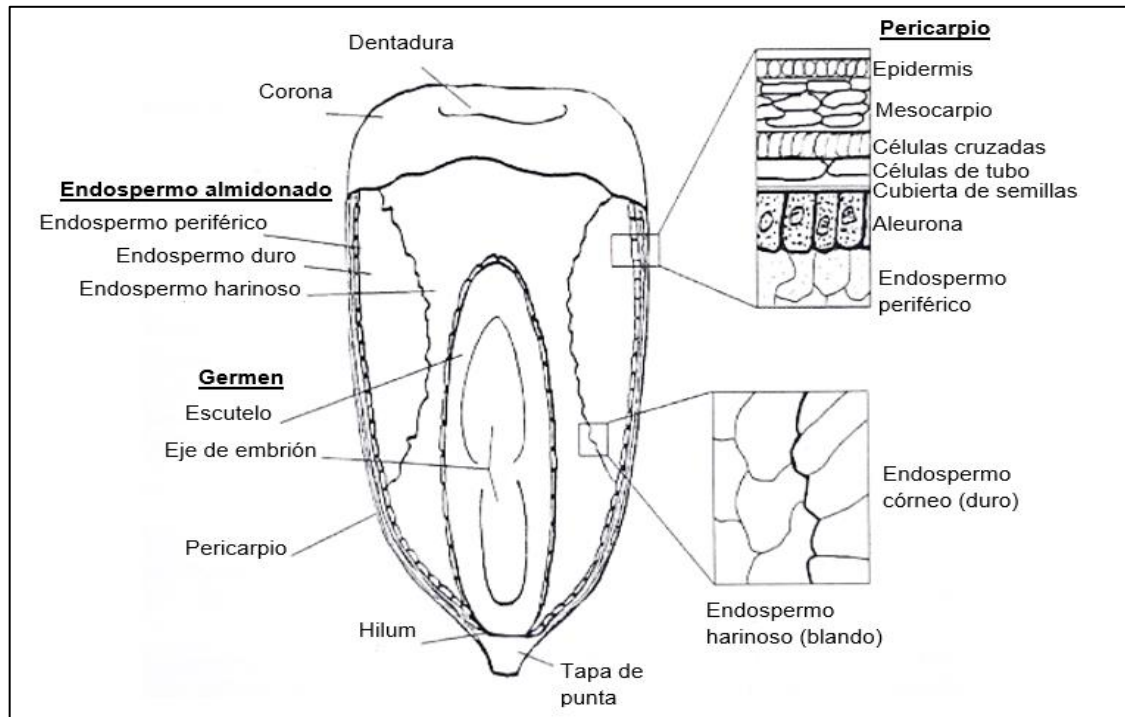
Tabla I. **Composición química de los granos de maíz dentados amarillos y blancos**

Componente	Valor
Proteína	8-10 %
Grasa	3,5-4,5 %
Cenizas	1,5-2,0 %
Fibra cruda	1,5-2,1 %
Azúcares solubles	1,4-2,0 %
Agua	10-15 %
Almidón	65-70 %

Fuente: LUSAS, Edmund and ROONEY, Lloyd. *Snack Foods Processing*. p. 9.

¹² LUSAS, Edmund and ROONEY, Lloyd. *Snack Foods Processing*. p. 9.

Figura 1. **Diagrama de la estructura del grano de maíz**



Fuente: LUSAS, Edmund and ROONEY, Lloyd. *Snack Foods Processing*. p. 3.

2.3. Molienda

La molienda es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria de los alimentos y en laboratorios de análisis químicos e involucra una reducción gradual del tamaño de partícula. El resultado de la molienda depende de las propiedades del material biológico (dureza, forma, composición) y también de la distribución e intensidad de la tensión aplicada por el equipo utilizado.

Las partículas pequeñas tienen una mayor superficie de contacto, son más homogéneas y más fáciles de descomponer, lo cual mejora los procesos de disolución y extracción. El tamaño de partícula puede afectar significativamente la composición de la muestra en términos de homogeneidad y representatividad de la sub-muestra, lo cual se refleja en las técnicas que utilizan pequeñas cantidades de material (< 100 mg).¹³

¹³ PALACIOS ROJAS, Natalia. *Calidad nutricional e industrial de Maíz - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. p. 40.

2.4. Molienda seca de maíz

La molienda en seco comprende procesos físicos destinados al desprendimiento, separación y rotura de las partes del grano (endospermo, germen y pericarpio) generando alimentos para animales, cerveza, cereales para el desayuno y otros productos alimenticios e industriales. En un proceso de templado /desgerminado en el cual la mayoría del pericarpio y el germen se eliminan y la mayor parte del endospermo se seca. Los granos enteros se muelen en sémola de maíz (hominy grits) y harina (meal).¹⁴

2.5. Productos obtenidos de la molienda seca de maíz

Los productos obtenidos a partir de la molienda seca de maíz son:

2.5.1. Trozos de maíz (*hominy grits*)

También puede denominárselos *flaking grits*, son utilizados en la industria de los cereales para el desayuno en la elaboración de copos u hojuelas de maíz (*corn flakes*).

2.5.2. Sémolas de maíz para expandidos

Se obtienen a partir de la molienda y cernido de trozos de maíz pelados y desgerminados, y son utilizadas en la elaboración de *snacks* mediante procesos de extrusión (dulces o salados). Es de vital importancia que la granulometría sea uniforme, al igual que su bajo contenido de grasa y la ausencia de partículas de salvado con el fin de poder lograr *snacks* expandidos de mejor calidad.¹⁵

¹⁴ KIPLE, Kenneth; CONEÈ ORNELAS, Kriemhild. *The Cambridge World History of Food*. p. 23.

¹⁵ LEZCANO, Elizabeth. *Agricultura, Ganadería y pesca - Productos de maíz*. http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/54/productos/r54_05_ProductosMaiz.pdf. Consulta: 26 de mayo de 2019

2.5.3. Harina de maíz precocida (Sémola de maíz precocida)

Producto elaborado a partir de trozos de maíz desgerminado y pelado, los que posteriormente han sido cocidos por extrusión, inyección de vapor y laminado o que hayan recibido otro tratamiento térmico necesario para provocar la pregelatinización de los almidones.

2.5.4. Sémolas de maíz para cervecería

A partir de los trozos pelados y desgerminados se obtienen sémolas para su utilización en los procesos fermentativos de la producción de la cerveza, las principales características son su bajo tenor graso, gránulos uniformes y ausencia de salvado. Estas exigencias de calidad tienen como objetivo lograr un mejor producto final, sin afectar el sabor y mejorando la calidad de la cerveza.

2.5.5. Harina fina de maíz

Este producto se genera inevitablemente al realizar la molienda de los trozos pelados y desgerminados para la obtención de sémolas. Se trata de harinas de baja granulometría, con un contenido de grasa superior a las sémolas.

2.5.6. Harina zootécnica o harina cruda (*hominy feed*)

El afrechillo es un coproducto de la molienda seca, utilizado en la alimentación animal. Se compone de germen, salvado, harinas y trozos provenientes de la molienda del grano de maíz duro. Su aspecto es similar al maíz finamente molido, y tiene gran valor nutricional, así como alta digestibilidad y palatabilidad. Se debe cuidar su conservación dado que posee aceites insaturados que se enrancian fácilmente.

La harina zootécnica es un coproducto de bajo valor (\$ 83,7/tonelada métrica) del proceso de molienda en seco de maíz que representa casi el 35 % de la cantidad inicial de maíz. La composición promedio de dicha harina es 56,9 % de almidón, 25,2 % de fibra detergente neutra, 11,1 % de proteína y 5,3 % de grasa.¹⁶

2.6. Polímero

Los polímeros son moléculas de alto peso molecular que generalmente consisten en varias unidades estructurales unidas por enlaces covalentes. Se obtienen a través de la reacción química de compuestos moleculares pequeños llamados monómeros, en donde los monómeros tienen grupos funcionales reactivos o enlaces dobles o triples cuya reacción proporciona los enlaces necesarios entre las unidades repetidas.

2.7. Clasificación de los polímeros

Los polímeros se clasifican en:

2.7.1. Polímeros sintéticos

Se producen mediante la reacción química de polimerización por adición o condensación, en donde se lleva a cabo la reacción de miles de monómeros que pasan a formar parte de una larga cadena macromolecular, estos pueden ser no biodegradables y reforzados.

2.7.1.1. Polímeros no biodegradables

Son obtenidos de fuentes fósiles (petróleo), por ejemplo, las poliolefinas tales como: polietileno (PE), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP),

¹⁶ SHARMA, Vivek; MOREAU Robert and SINGH, Vijay. *Increasing the value of hominy feed as a coproduct by fermentation*. file:///C:/Users/mmerl/Downloads/IND44063135%20(1).pdf. Consulta: 01 de junio de 2019.

poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), polietilen tereftalato (PET), entre otros.¹⁷

Tabla II. **Polímeros no biodegradables**

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polipropileno	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$
Poliestireno	PS	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$
Poli(cloruro de vinilo)	PVC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$
Poliacrilonitrilo	PAN	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}-$
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$
Polibutadieno (1,4-cis)	PB	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$

Fuente: HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 08 de junio de 2019.

2.7.1.2. Polímeros compuestos o reforzados

Están conformados por tres constituyentes básicos el refuerzo, la matriz y la interface. El refuerzo es el componente que aporta las propiedades mecánicas (resistencia y rigidez). La matriz es el material que se desea reforzar. La interfaz es responsable de la compatibilidad y correcta adhesión entre la matriz y el refuerzo que determina la verdadera consolidación del material.

Estos polímeros no son biodegradables ya que los microorganismos no pueden actuar sobre ellos, la única forma de degradación para este tipo de materiales es la oxo-degradación, en la cual el oxígeno rompe sus enlaces fragmentando el material,

¹⁷ HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 08 de junio de 2019.

cuyos fragmentos son la etapa final del proceso resultando en una degradación incompleta.¹⁸

Tabla III. **Materiales compuestos reforzados con fibras. Tipo de matriz polímero**

Matriz	Fibra
Termoestables	Fibras animales
1. Epóxica	9. Seda
2. Fenólica	Fibra de semilla
3. Bismaleimida	10. Bonote del coco
4. Poliéster	11. Algodón
Termoplásticos	Fibras de hojas
5. Polieterequetona "PEEK"	12. Abacá
6. Polisulfona "PSU"	13. Sisal
7. Polipropileno "PP"	14. Piña
8. Polietileno de alta densidad "HDPE"	Fibras de la corteza de tallo
Elastómeros	15. Lino
	16. Cáñamo
	17. Yute
	Fibras sintéticas
	18. Vidrio E
	19. Vidrio S
	20. Aramida (K49)
	21. Carbono
	Esfuerzo
	22. Carbono
	Módulo
	23. Boro

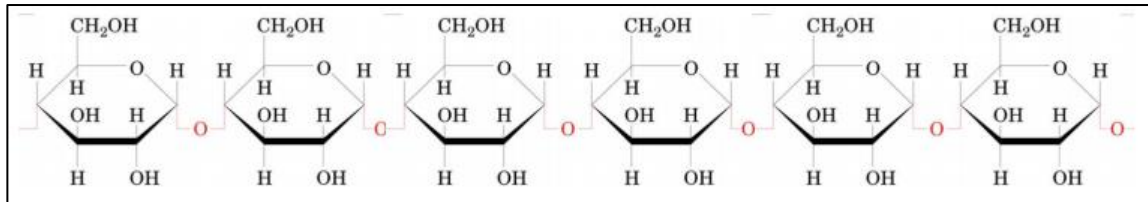
Fuente: HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 08 de junio de 2019.

¹⁸ HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 08 de junio de 2019.

2.7.2. Polímeros naturales o biopolímeros

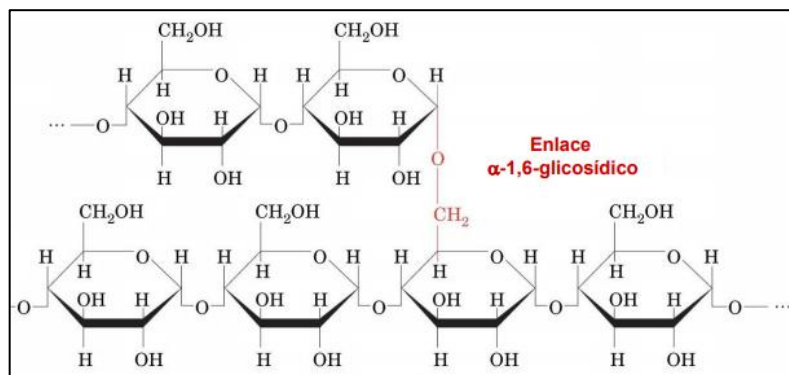
Los biopolímeros también llamados polímeros renovables se derivan de fuentes biológicas como plantas, bacterias, desechos agrícolas o se sintetizan químicamente a partir de unidades de monómeros biológicos como azúcares, aminoácidos, grasas, aceites naturales y nucleótidos, estos biopolímeros incluyen celulosa, almidón, quitina, proteínas de quitosano y péptidos. Son una fuente sostenible de materiales poliméricos no tóxicos, biodegradables, ecológicos y de bajo costo, estos pueden ser biopolímeros naturales o sintéticos.¹⁹

Figura 2. Fracción de amilosa de la molécula de almidón



Fuente. BENNION MARION, Scheule Barbara. *Introductory Foods*. p. 33.

Figura 3. Fracción de amilopectina de la molécula de almidón



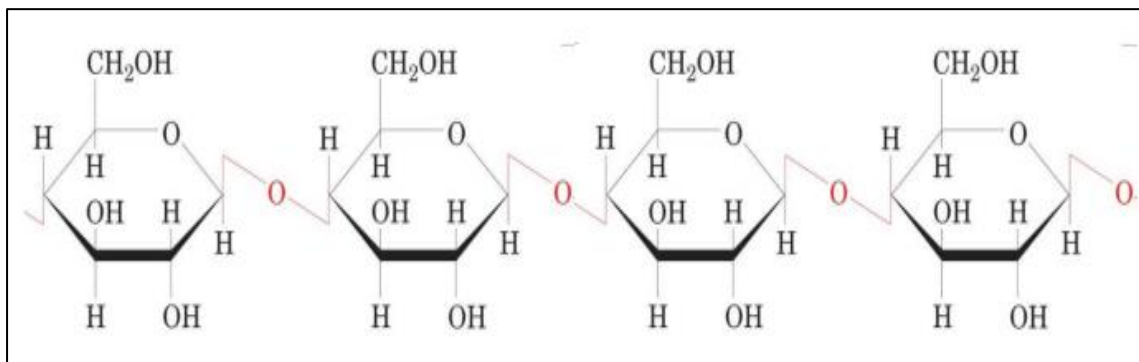
Fuente: BENNION MARION, Scheule Barbara. *Introductory Foods*. p. 36

¹⁹ KUMAR TRIPATHI, Durgesh; AHMAD, Parvaiz; SHARMA, Shivesh; KUMAR CHAUHAN, Devendra and KISHORE DUBEY, Nawal. *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms: Concepts and Controversies*. p. 30.

2.7.2.1. Biopolímeros naturales

Provenientes directamente de organismos vivos, incluyen proteínas (colágeno, queratina, gelatina, gluten de trigo, proteínas de leche o de soya), polisacáridos (almidón, derivados de celulosa, quitosano, alginatos, carragenatos y pectinas), lípidos (ceras, ácidos grasos y monoglicéridos).

Figura 4. Estructura química de la celulosa

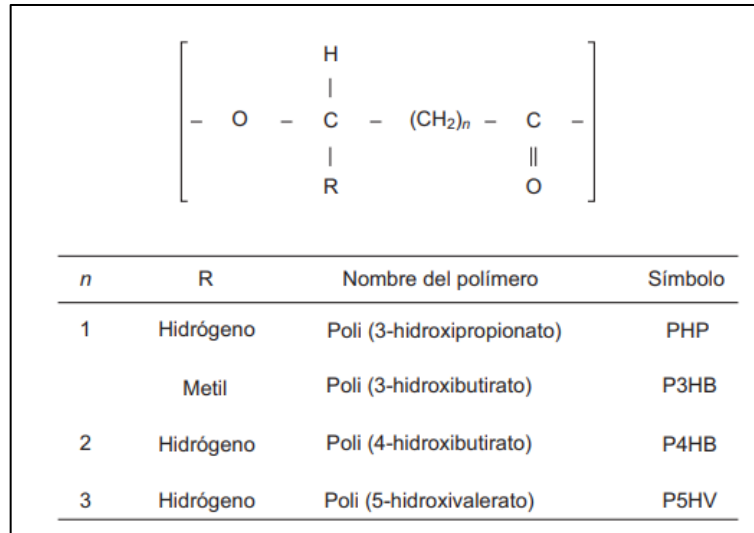


Fuente: BENNION MARION, Scheule Barbara. *Introductory Foods*. p. 38

2.7.2.2. Biopolímeros sintéticos

Pueden ser poliésteres producto del metabolismo de bacterias como polihidroxicanoatos (PHA) y ácido poliláctico (PLA).

Figura 5. **Estructura general de los PHA, nomenclatura y símbolo según la longitud y posición de la cadena lateral (R)**



Fuente. GONZÁLEZ, Yolanda; MEZA, Juan; GONZÁLEZ, Orfil y CÓRDOVA, Jesús. *Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano*.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a7.pdf>. Consulta: 10 de junio de 2019.

2.8. Clasificación de materiales poliméricos

Los materiales poliméricos se clasifican en:

2.8.1. Termoplásticos

Se comportan de manera plástica a elevadas temperaturas, más aún, la naturaleza de sus enlaces no se modifica radicalmente cuando la temperatura se eleva, razón por la cual pueden ser conformados a temperaturas elevadas, enfriados y después recalentados o reconvertidos sin afectar el comportamiento del polímero. Los polímeros termoplásticos son lineales.

Tabla IV. **Materiales poliméricos termoplásticos**

Nombre		Propiedades	Aplicaciones
Cloruro de polivinilo (PVC)		Amplio rango de dureza, impermeable.	Tuberías, guantes, mangueras, etc.
Poliestireno (PS)	Duro	Transparente, pigmentable.	Cajas de CD, envases de productos lácteos, cajas para huevos.
	Expandido	Esponjoso y blando.	Embalaje, envasado, aislamiento térmico y acústico.
Poliétileno (PE)	Alta densidad HDPE	Rígido y resistente, transparente.	Utensilios domésticos y juguetes.
	Baja densidad LDPE	Blando y ligero, transparente.	Filmes transparentes para embalajes, bolsas, vasos, platos.
Polipropileno (PP)		Flexible, buena resistencia química y dureza superficial.	Botellas, envases, hilos en alfombras y sogas, embalajes, bolas.
Metacrilato (plexiglás) (PMMA)		Transparente.	Faros y pilotos de automóviles, ventajitas, gafas de protección, relojes.
Teflón (Fluorocarbono)		Deslizante, antiadherente, resistente a altas temperaturas.	Utensilios de cocina, en pinturas y barniches, revestimiento de aviones, prótesis.
Celofán (Biodegradable)		Transparente, flexible y resistente, brillante y adherente.	Embalaje, envasado y empaquetado.
Poliamida o PA		Translúcido, brillante, resistente, flexible e impermeable.	Tejidos, cepillos dentales, cuerdas de raquetas.

Fuente: HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 11 de junio de 2019.

2.8.2. Termorrígidos

Los polímeros termorrígidos, también denominados termoestables, son polímeros reticulados durante la reacción de polimerización o mediante la introducción de entrecruzamientos químicos (*cross links*). Este reticulado no

permite que estos polímeros sean reprocesados después de que han sido conformados.

Tabla V. **Materiales poliméricos termorrígidos**

Nombre	Propiedades	Aplicaciones
Poliuretano (PUR)	Esponjoso y flexible, blando y macizo, elástico y adherente.	Espuma para colchones y asientos, esponjas, aislamientos térmicos y acústicos, rudas de fricción, entre otros.
Resinas fenólicas (PH)	Con fibras de vidrio, resistentes al choque, color negro, aislante eléctrico, termorresistente.	Asas de utensilios de cocina, ruedas dentadas, carcasas de electrodomésticos, aspiradores, enchufes, interruptores, entre otros.
Melamina	Ligero, resistente y de considerable dureza, sin olor, aislante térmico.	Accesorios eléctricos, aislamiento térmico y acústico, encimeras de cocinas, vajillas, recipientes para alimentos.
Resinas de poliéster (UP)	Resistente a altas temperaturas (200 °C), se le añade fibra de virio que le adiciona rigidez.	Fabricación de cascos de protección para motos, estructuras de embarcaciones, carrocerías de carros, entre otros.

Fuente: HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 11 de junio de 2019.

2.8.3. Elastómeros

También denominados cauchos o hules tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termorrígido según su estructura sea lineal o reticulada. Son materiales poliméricos que tienen la capacidad de elongar y regresar a su estado original cuando se remueve la fuerza aplicada para estirarlos. Sin embargo, esta es sólo una idealización del comportamiento de las macromoléculas ya que las cadenas no sólo se desenrollan, sino que también deslizan unas sobre otras, de modo que al eliminar el esfuerzo aplicado desaparece la deformación

elástica (instantánea y reversible) pero puede quedar una deformación remanente (deformación plástica, debida al deslizamiento).²⁰

Tabla VI. **Materiales poliméricos elastómeros**

Nombre	Obtención	Propiedades	Aplicaciones
Caucho natural	Látex	Resistente. Inerte	Aislamiento térmico y eléctrico, colchones, neumáticos, etc.
Caucho sintético	Derivados del petróleo	Resistente a agentes químicos	Neumáticos, volantes, parachoques, esponjas de baño, tuberías, mangueras.
Neopreno	Caucho sintético.	Mejora las propiedades del caucho sintético: es más duro y resistente. Impermeable	Trajes e inmersión, mangueras, guantes, etc.

Fuente: HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 11 de junio de 2019.

2.9. Bioplásticos

El término bioplástico se refiere al origen biológico o al carácter biodegradable de un plástico. De base biológica y biodegradable no son sinónimos (ver tabla 5) y, por lo tanto, la propiedad de la biodegradación no depende de la base de recursos de un material, sino que está vinculada a la estructura química del polímero. Un material plástico se define como un bioplástico si tiene una base biológica, es biodegradable o presenta ambas propiedades.

²⁰ HERMIDA, Élida. *Polimeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 11 de junio de 2019.

Tabla VII. **Posicionamiento de los plásticos de base biológica frente a los petroquímicos y los plásticos biodegradables frente a los no biodegradables**

	Petroquímico	Parcialmente de base biológica	Base biológica (bio-based)
No biodegradable	PE, PP, PET, PS, PVC	Bio-PET, PTT	Bio-PE
Biodegradable	PBAT, PBS(A), PCL	Mezclas de almidón	PLA, PHA, Celofán

Fuente: VAN DEN, Oever Martien; MOLENVELD, Karin; VAN DER, Zee Maarten and BOS, Harriette. *Bio-based and biodegradable plastics – Facts and Figures*. <http://dx.doi.org/10.18174/408350>. Consulta: 03 de mayo de 2019.

Los bioplásticos, que son de base biológica, biodegradables o ambos, tienen las mismas propiedades o similares que los plásticos convencionales, pero ofrecen beneficios adicionales, como una reducción de la huella de carbono, mejores funcionalidades u opciones adicionales de gestión de residuos, como el reciclaje orgánico.

La oxofragmentación no es biodegradación. Los plásticos que se anuncian como "oxodegradables" u "oxo-biodegradables" están hechos de plásticos convencionales y se mezclan con aditivos para imitar la biodegradación. Sin embargo, el efecto principal de la oxidación es una mera fragmentación del material o producto en pequeñas partículas que permanecen en el medio ambiente. Estos productos no cumplen con los estándares de compostabilidad y no se consideran bioplásticos.²¹

²¹ European Bioplastics. *What are bioplastics? Material types, terminology and labels – an introduction*. https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf. Consulta: 05 de mayo de 2019.

2.10. Tipos de bioplásticos

Los bioplásticos se clasifican en:

2.10.1. Bioplásticos de base biológica

Un bioplástico de base biológica es un producto que se deriva total o parcialmente de la biomasa. La biomasa es un material de origen biológico, tal como el papel y la madera, plásticos como el PLA, cuyos bloques de construcción se producen a partir de azúcares, excluyendo el material incrustado en formaciones geológicas y / o fosilizado. La biomasa utilizada para bioplásticos proviene del maíz, caña de azúcar o celulosa.

2.10.2. Bioplásticos de base renovable

La materia prima consumida puede denominarse renovable cuando se recolecta a partir de recursos que se recuperan naturalmente en una escala temporal humana en contraste con el aceite fósil que toma millones de años en formarse. La materia prima de origen biológico se puede llamar renovable siempre que el cultivo de nuevos cultivos equilibre la cosecha. Por ejemplo, la turba no se considera renovable debido a la lenta tasa de regeneración, y la madera dura tropical solo es renovable cuando está bien administrada. En consecuencia, *la base biológica no es intrínsecamente "renovable"*.²²

2.10.3. Bioplástico biodegradable

Los bioplásticos biodegradables están directamente relacionados con la estructura química del polímero y los materiales biodegradables son materiales que se pueden descomponer por microorganismos (bacterias u hongos) en agua, gases naturales como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) y la biomasa como el crecimiento de la población de microorganismos. La biodegradabilidad depende en gran medida de las condiciones ambientales como la temperatura, presencia de microorganismos, presencia de oxígeno y agua, por lo tanto, tanto la biodegradabilidad como la tasa de degradación de un producto plástico

²² VAN DEN, Oever Martien; MOLENVELD, Karin; VAN DER, Zee Maarten and BOS, Harriëtte. *Bio-based and biodegradable plasties – Facts and Figures*. <http://dx.doi.org/10.18174/408350>. Consulta: 03 de mayo de 2019.

biodegradable pueden ser diferentes en el suelo, en clima húmedo o seco, en aguas superficiales, en aguas marinas o en sistemas hechos por el hombre, como el compostaje doméstico, el compostaje industrial o digestión anaeróbica.²³

2.10.4. Bioplástico compostable

Los materiales compostables son materiales que se descomponen en las condiciones de compostaje. Las condiciones de compostaje industrial requieren una temperatura elevada (55 - 60 °C) combinada con una alta humedad relativa y la presencia de oxígeno, las cuales son las óptimas en comparación con otras condiciones diarias de biodegradación: en el suelo, el agua superficial y el agua marina.²⁴

Según la norma EN13432, los envases de plástico solo se pueden llamar compostables si se demuestra que:

- El material de embalaje y sus componentes orgánicos relevantes (> 1% en peso) son naturalmente biodegradables.
- La desintegración del material de empaque se lleva a cabo en un proceso de compostaje de desechos orgánicos dentro de un cierto tiempo.
- El material de embalaje no tiene ningún efecto negativo en el proceso de compostaje.
- La calidad del compost no está influenciada negativamente por el material de embalaje.²⁵

2.11. Biodegradabilidad

La ASTM D-5488-944 define la biodegradabilidad como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos, y puede medirse por ensayos estándares en un periodo específico de tiempo reflejado en condiciones disponibles de almacenamiento.²⁶

²³ VAN DEN, Oever Martien; MOLENVELD, Karin; VAN DER, Zee Maarten and BOS, Harriëtte. *Bio-based and biodegradable plasties – Facts and Figures*. <http://dx.doi.org/10.18174/408350>. Consulta: 03 de mayo de 2019.

²⁴ *Ibíd.*

²⁵ UNE. 13432:2001: *Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>. Consulta: 07 de mayo de 2019.

²⁶ AVILÉS, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2273665>. Consulta: 14 de mayo de 2019.

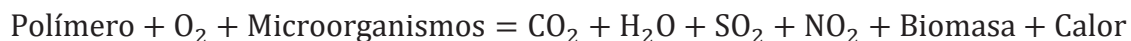
Se trata de procesos que describen la mineralización de las estructuras orgánicas por medio de microorganismos. Estos microorganismos convierten los bioplásticos en dióxido de carbono, metano, agua y biomasa. Los procesos de biodegradación comprenden dos categorías:

- Biodegradación primaria
- Biodegradación secundaria o mineralización

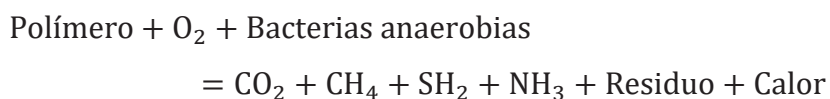
En la biodegradación primaria se producen discretas alteraciones estructurales en la molécula original, lo que hace que esta pierda sus propiedades físico-químicas. En la biodegradación secundaria o total, la sustancia química es metabolizada por los microorganismos como fuente de carbono y energía, siendo completamente transformada en compuestos inorgánicos. La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica).

En los materiales degradables el proceso biodegradativo puede verificarse en condiciones anaerobias o aerobias.

- Reacción en medio aerobio



- Reacción en medio anaerobio



Los factores que influyen en el proceso biodegradativo son las condiciones del medio (pH, temperatura, humedad, etc.), las características del polímero (peso

molecular, enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, presencia de monómero residual o aditivos, etc.), dimensiones del material y las características del microorganismo (cantidad, tipo y fuente).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), establece varias pruebas para determinar la biodegradabilidad de una sustancia, algunos de estos ensayos comprenden las pruebas de biodegradabilidad inmediata, intrínseca y en suelos.

Las pruebas de biodegradabilidad inmediata se basan en la incubación aerobia estática, o por lote, de una cantidad reducida de biomasa en un medio mineral, a pH neutro y temperaturas entre 20 y 25 °C. La sustancia en estudio se añade a una concentración definida, como única fuente de carbono y energía. El inóculo consiste en una población microbiana natural que no haya sido expuesta al compuesto de prueba.

Las pruebas de biodegradabilidad intrínseca se desarrollan bajo condiciones ambientales más favorables a la biodegradación, sobre todo en lo que concierne a la duración del ensayo y al mantenimiento de una viabilidad elevada del inóculo. Lo anterior se logra mediante la adaptación previa del inóculo a la sustancia y la adición de una fuente adicional de carbono

El ensayo de biodegradabilidad en suelos implica la adición de la sustancia de prueba a muestras de suelo y su posterior incubación en un biómetro a temperatura y humedad constantes, y en ausencia de luz, la sustancia de prueba puede ser o no marcada radiactivamente. A diferentes períodos de incubación se realiza una extracción de las muestras y se determinan los contenidos de la sustancia de prueba, y de los principales productos de degradación. Los productos volátiles deben ser colectados absorbiéndolos en los medios apropiados para su posterior cuantificación.²⁷

2.12. Métodos de procesamiento de polímeros para la producción de materiales desechables o empaques

Los métodos para el procesamiento de polímeros son:

²⁷ RODRÍGUEZ, Ariel. *Biodegradabilidad de materiales bioplásticos*. https://www.researchgate.net/profile/Ariel_Rodriguez_Cuesta/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos/links/5bdb4e3492851c6b279f6d93/Biodegradabilidad-de-materiales-bioplasticos.pdf. Consulta: 14 de mayo de 2019.

2.12.1. Extrusión

Mecanismo de tornillo simple o doble, fuerza el termoplástico caliente a través de una boquilla o troquel para producir formas sólidas, películas, láminas, tubos y aún bolsas plásticas.

2.12.2. Moldeo por soplado

Un globo caliente de polímero fundido (extruido), llamado preforma, se introduce en un molde y es expandido contra las paredes del molde mediante un gas a presión. Este proceso se utiliza para producir botellas plásticas, recipientes y otras formas huecas.

2.12.3. Moldeo por inyección

Se basa en inyectar a presión un polímero fundido en un molde cerrado y frío, el material se solidifica y toma la forma del molde.

2.12.4. Conformado al vacío o termoformado

Las láminas termoplásticas calentadas a temperaturas mayores que la temperatura de transición vítrea (T_g) se colocan sobre un molde o patrón conectado a un sistema de vacío. Las pequeñas rendijas en el molde o patrón permiten que el vacío tire de la lámina caliente de plástico sobre el patrón. Este proceso se emplea para la fabricación de recipientes delgados o poco profundos como los envases para yogurt y otros productos lácteos, las hueveras, piezas de plástico para embalar y exponer frutas, entre otros. Los materiales empleados son el poliestireno, el PVC y plásticos acrílicos.

2.12.5. Calandrado

En una calandra se vierte el plástico fundido entre un grupo de rodillos con una pequeña abertura; al girar los rodillos generan una delgada película de polímero. Se aplica a las películas de PVC que se utilizan para envolver alimentos.

2.12.6. Moldeo por compresión

Consiste en introducir entre dos moldes complementarios (molde hembra y macho) y calientes una pieza de polvo comprimido, que tomará la forma del molde al presionar las dos partes del mismo. El calor del molde iniciará la reacción química llamada degradación. El moldeo por compresión se emplea con plásticos termoestables. Mediante esta técnica se fabrica material eléctrico, tapas de inodoros, mangos de cepillos, tapones de botellas, entre otros.

2.12.7. Moldeo por transferencia

Se emplea un doble intercambiador para los polímeros termorígidos. El polímero se calienta bajo presión en un intercambiador, después de fundido el polímero se inyecta en el molde adyacente. Este proceso combina elementos del moldeo por compresión y del moldeo por inyección.

2.12.8. Colado

Muchos polímeros pueden ser colados en moldes donde se solidifican, los moldes pueden ser placas de vidrio cuando se desea producir láminas gruesas de termoplástico o bandas móviles de acero inoxidable para la colada continua de láminas más delgadas.

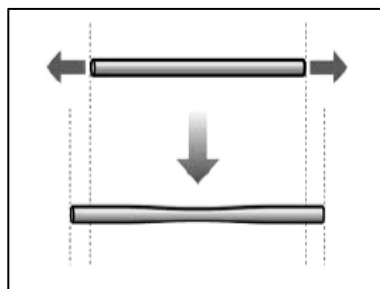
2.13. Propiedades mecánicas de los polímeros

Los ensayos para evaluar las propiedades mecánicas de los polímeros se clasifican en:

2.13.1. Esfuerzo de tracción

La tracción es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo. Cuando se trata de cuerpos sólidos, las deformaciones pueden ser permanentes: en este caso, el cuerpo ha superado su punto de fluencia y se comporta de forma plástica, de modo que tras cesar el esfuerzo de tracción se mantiene el alargamiento. Si las deformaciones no son permanentes se dice que el cuerpo es elástico, de manera que, cuando desaparece el esfuerzo de tracción, aquél recupera su primitiva longitud.

Figura 6. **Esfuerzo de tracción**



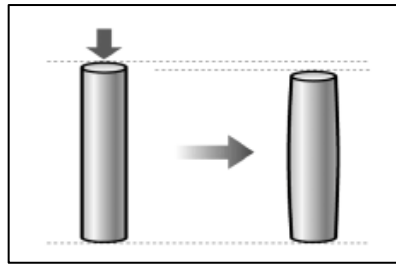
Fuente: ANDA, Lucía. *Temas para la educación*.

<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>. Consulta: 20 de junio de 2019

2.13.2. Esfuerzo de compresión

La compresión es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo. Es lo contrario a la tracción y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos. Con lo que podemos decir, que la compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.²⁸

Figura 7. Esfuerzo de compresión



Fuente: ANDA, Lucía. *Temas para la educación*.

<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>. Consulta: 20 de junio de 2019.

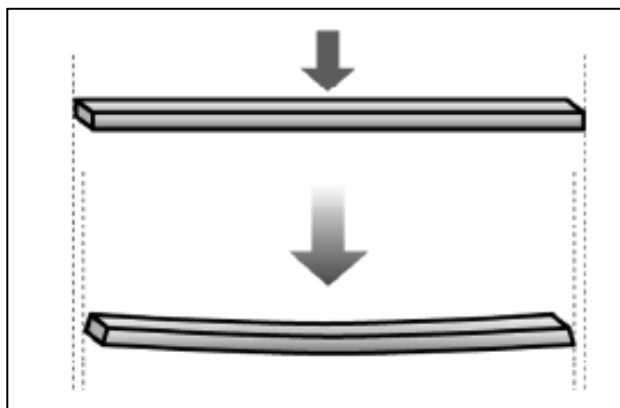
2.13.3. Esfuerzo de flexión

La flexión es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza están sometidas a un esfuerzo de flexión (se alargan), las inferiores se acortan, o viceversa, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a doblarlo. El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector.²⁹

²⁸ ANDA, Lucía. *Temas para la educación*. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>. Consulta: 20 de junio de 2019.

²⁹ ANDA, Lucía. *Temas para la educación*. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>. Consulta: 20 de junio de 2019.

Figura 8. **Esfuerzo de flexión**



Fuente: ANDA, Lucía. *Temas para la educación*.

<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>. Consulta: 20 de junio de 2019.

2.14. **Propiedades químicas de los polímeros**

Las propiedades químicas de los polímeros se clasifican en:

2.14.1. **Temperatura de degradación**

A muy alta temperatura los enlaces covalentes entre los átomos de la macromolécula pueden destruirse, el polímero se quema o carboniza. La temperatura a partir de la cual se manifiesta este deterioro, conocida como temperatura de degradación T_d limita la utilidad del polímero y representa la temperatura superior a la cual el polímero puede ser conformado en forma útil.³⁰

2.14.2. **Temperatura de fusión**

Es la temperatura por debajo de la cual las cadenas se organizan para formar regiones cristalinas.

³⁰ HERMIDA, Élida. *Polímeros*. http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf. Consulta: 02 de junio de 2019.

2.14.3. Temperatura de transición vítrea

Es la temperatura a la cual se produce la transición de comportamiento vítreo (rígido) a elastomérico (tipo blando o gomoso). La transición vítrea se manifiesta macroscópicamente por cambios físicos (ablandamiento del material) que ocurren a una temperatura (T_g) y representa un punto crítico para la movilidad de los componentes amorfos a nivel molecular.³¹

2.15. Aditivos

Los aditivos para la elaboración de biopolímeros son:

2.15.1. Plastificante

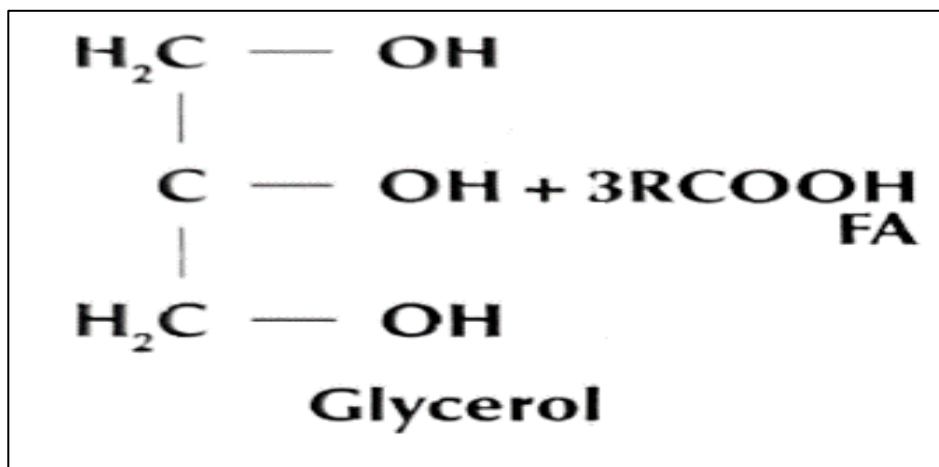
El plastificante es una sustancia normalmente líquida y de viscosidad mayor a la del agua que se adiciona a la mezcla con el fin de mejorar la flexibilidad del material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares. El efecto plastificante puede ser dado por sustancias como: agua, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, amidas y mezclas entre estos, pero se prefiere utilizar plastificantes cuya presión de vapor sea baja para evitar que éste se volatilice al finalizar el proceso de extrusión o de calentamiento.

La adición de plastificantes disminuye la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea, cambiando su comportamiento reológico debido a que logra movilizar moléculas, dando plasticidad al material. Los plastificantes solubles en agua como el glicerol son efectivos agentes suavizantes para los almidones, mejorando la flexibilidad de las películas resultantes. Cuanto más se incluye una sustancia plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación se incrementan mientras que el esfuerzo de ruptura disminuye.³²

³¹ *Ibíd.*

³² ENRIQUEZ, Mario; VELASCO, Reinaldo y ORTIZ, Vicente. *Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón.* <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>. Consulta: 04 de junio de 2019.

Figura 9. Estructura química general del Glicerol (FA: ácido graso)



Fuente. LUSAS, Edmund and ROONEY, Lloyd. *Snack Foods Processing*. p. 30.

2.15.2. Espesantes y gelificantes

En conjunto se les denomina Hidrocoloides, ya que estos son polisacáridos de alto peso molecular que, al interactuar con otras moléculas, son capaces de modificar las propiedades reológicas, actuando como estabilizantes, espesantes o gelificantes, entre otras propiedades.

La propiedad básica de todos los hidrocoloides es la función espesante e impartición de viscosidad, pueden actuar como emulsificantes, espesantes y estabilizantes, dependiendo de la viscosidad de cada uno. El aumento de la viscosidad se debe a la presencia de grupos hidroxilos con enlaces de hidrógeno propios de las moléculas de agua. Una segunda propiedad es la gelación, pero no todos los hidrocoloides la presentan.

La mayoría de estos productos clasificados a veces como gomas, proceden de fuentes naturales, aunque otros se modifican químicamente para conseguir las características deseadas. Muchos estabilizantes y espesantes son polisacáridos, como: la goma arábiga, goma guar, carboximetilcelulosa (CMC), carragenato, agar, almidón y pectina.³³

³³ CHOCANO, Ángel. *Recopilación Tecnológica de Agentes de textura y sus aplicaciones*. <http://www.chefuri.net/usuarios/download/recopilacion/recopilacion2.pdf>. Consulta: 04 de junio de 2019.

Tabla VIII. **Hidrocoloides alimenticios**

Origen	Naturales	Modificados
Exudados de plantas	Goma Árbiga Goma Tragacanto Goma Karaya	
Semillas	Goma Guar Goma Garrofin Goma Tara	Carboximetil-guar Carboximetil-garrofin
Algas Marinas	Agar-agar Alginatos Carragenatos	Alginato de propilenglicol
Frutos (cáscara de limón, manzanas, etc.)	Pectinas HM (alto metoxilo)	Pectinas LM (bajo metoxilo)
Tubérculos	Konjac, patata (almidones)	Almidones modificados
Celulosa	Celulosa microcristalina	Carboximetilcelulosa Metilcelulosa Hidroxipropilcelulosa
Fermentación (cultivo de ciertos microorganismos)		Goma Xantana Goma Gellan Goma Curdan
Animal	(gelatina) Caseinatos Proteína de suero	Gelatina modificada
Cereales (maíz, trigo, tapioca)	Almidón	Almidones modificados
Exoesqueleto de crustáceos	Quitina, quitosano	

Fuente: CHOCANO, Ángel. *Recopilación Tecnológica de Agentes de textura y sus aplicaciones*.
<http://www.chefuri.net/usuarios/download/recopilacion/recopilacion2.pdf>. Consulta: 04 de junio de 2019.

2.16. **Métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional**

El programa de Métodos Oficiales de Análisis de la AOAC Internacional es el principal programa de la organización para el desarrollo de métodos de consenso. Los métodos aprobados en este programa han sido sometidos a un riguroso escrutinio científico y sistemático y se consideran altamente creíbles y defendibles. Los métodos se publican en los Métodos oficiales de análisis de AOAC INTERNATIONAL y los manuscritos de respaldo se publican en el Journal of AOAC INTERNATIONAL.

AOAC INTERNACIONAL reúne al gobierno, la industria y la academia para establecer métodos estándar de análisis que garanticen la seguridad e integridad de los alimentos y otros productos que afectan la salud pública a nivel mundial.

Las normas publicadas de AOAC son utilizadas por las agencias gubernamentales que regulan los alimentos y los productos relacionados, para garantizar que sus productos cumplan con los requisitos de la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) la cual exige que los paneles de química alimentaria se adhieran a estrictas pautas federales.³⁴

³⁴ AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. <https://www.aoac.org/>. Consulta: 31 de mayo de 2020.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A partir de la mezcla de harina cruda de maíz (*Zea mays*), un plastificante, un agente aglutinante, un antioxidante y agua, se desarrolló un biopolímero con la finalidad de elaborar un producto alimenticio alternativo y a la vez un sustituto de los plásticos convencionales, en su aplicación como plato desechable, involucrando variables de operación y de proceso, siendo constantes, variables dependientes o variables independientes.

3.1.1. Variables de operación

- Temperatura
- Presión

3.1.2. Variables de proceso

- Masa de reactivos
- Tiempo de agitación de la mezcla
- Temperatura del proceso de moldeo por termocompresión
- Presión del proceso de moldeo por termocompresión
- Tiempo del proceso de moldeo por termocompresión
- Tiempo de cocción del biopolímero
- Tiempo de degradación del biopolímero

Tabla IX. **Definición de las variables del procedimiento experimental para la formulación del biopolímero**

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Dependiente	Independiente
1	Peso de la harina cruda de maíz (<i>Zea mays</i>)	g		x		X
2	Peso de la goma xantana	g		x	x	
4	Peso del BHT	g	x		x	
5	Peso de la glicerina	g		x	x	
6	Peso del agua purificada	g		x	x	
7	Tiempo de agitación	min	x			X

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Definición de las variables del procedimiento experimental para el proceso de moldeo por termocompresión**

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Dependiente	Independiente
1	Temperatura de moldeo	°C		X	X	
2	Presión de moldeo	psi		x	x	
3	Tiempo de moldeo	min		x	x	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Definición de las variables del procedimiento experimental para el proceso de cocción para el biopolímero comestible**

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Dependiente	Independiente
1	Tiempo de cocción	min		X	x	
2	Temperatura de cocción	°C	x			x

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Definición de las variables del procedimiento experimental para el proceso de degradación para el biopolímero comestible**

No.	Variable	Unidad	Factor de diseño		Tipo de variable	
			Constante	Variable	Dependiente	Independiente
1	Tiempo de degradación	min	x			x
2	Peso del biopolímero inicial	g		X	x	
3	Peso del biopolímero con forme el tiempo	g		X	x	
4	Peso del biopolímero final	g		X	x	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La investigación está delimitada principalmente al campo de la bioquímica, bioingeniería y tecnología de los alimentos, en la elaboración a escala laboratorio de un biopolímero comestible cuya aplicación sea utilizarse también como plato desechable, empleando como materia prima harina cruda de maíz (*Zea mays*). Dicha harina se obtuvo a partir del proceso de molienda en seco de maíz en una empresa de alimentos, cuya identidad permanecerá en el anonimato por políticas de privacidad.

Los análisis de formulación para la elaboración del biopolímero, análisis de termocompresión y cocción se llevaron a cabo en la misma empresa de alimentos.

La determinación del contenido de fibra neutrodetergente se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología, edificio M6 de la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El análisis proximal, microbiológico, evaluación sensorial y degradabilidad del biopolímero comestible obtenido se llevaron a cabo en la misma empresa de alimentos.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Meiby Guissela Franco Arredondo.
- Asesorada por: Ingeniera Química Hilda Piedad Palma de Martini, colegiada No. 453.
- Revisado por: Ingeniera Química Adela María Marroquín González, colegiada No. 1446.
- Profesionales de una empresa de alimentos.

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y reactivos)

Los recursos materiales utilizados fueron:

3.4.1. Equipo

Los equipos para la elaboración experimental fueron:

3.4.1.1. Instrumentos de medición

- Balanza analítica Torbal ATN60A, incerteza 0,0001g
- Cronómetro Sper Scientific 810015
- Analizador de proteínas (DUMAS) LECO 828
- Termocompresor Eppendorf Research
- Analizador de actividad de agua AguaLab
- Placas petrifilm (enterobacterias)

3.4.1.2. Instrumentos auxiliares

- Extractor de grasa de productos alimenticios SER 148 (VELP)
- Horno convencional AIR Performance
- Mufla Lab Hicat Blue M
- Recipiente de acero inoxidable, 27,94cm de alto y 12,7cm de diámetro
- Paleta de madera

3.4.2. Cristalería

- Beacker 100ml KIMAX
- Crisol
- Vidrio de reloj EDGE
- Botellas para dilución

3.4.3. Reactivos

- Harina cruda de maíz (*Zea mays*)
- Glicerina vegetal USP, pureza 99,8 %
- Goma xantana, pureza 99,9 %
- Butilhidroxitolueno (BHT), pureza 99,9 %
- Agua purificada
- Bencina de petróleo
- Agua peptonada al 0,1 %

3.4.4. Equipo de protección personal

- Botas industriales

- Bata
- Bata desechable
- Guantes de látex
- Guantes térmicos
- Mascarilla cubreboca
- Redecilla

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Se utilizó técnicas cualitativas y cuantitativas en el desarrollo de la investigación.

3.5.1. Técnica cualitativa

Se observó y evaluó las características cualitativas del biopolímero comestible, como su textura, color, olor y sabor.

3.5.2. Técnica cuantitativa

Se llevó a cabo el desarrollo de un biopolímero comestible capaz de ser utilizado como plato desechable. Primero se estableció una formulación mediante la incorporación de harina cruda de maíz (*Zea mays*), glicerina, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT) y agua purificada, se estableció el tiempo más apropiado de mezclado de los componentes secos y de la materia húmeda.

Posteriormente se llevó a cabo pruebas de moldeo mediante el proceso de termocompresión y se estableció la temperatura, presión y tiempo adecuado, con el fin de obtener un molde en forma de plato desechable, luego se procedió a

ingresar las muestras a un horno convencional de laboratorio a temperatura constante de 101 °C para determinar el tiempo de cocción de las mimas.

Obtenido el biopolímero comestible se evaluó el contenido de fibra neutrodetergente, comparando dicho resultado con el contenido inicial de la materia prima. Se realizó pruebas de análisis proximal y análisis microbiológico con el fin de caracterizar su valor nutricional y su inocuidad, se estableció con ello si el producto es apto para ser consumido, posteriormente se llevó a cabo una evaluación sensorial.

Se evaluó la degradación del biopolímero comestible mediante la pérdida de masa al colocar una muestra expuesta al ambiente y otra en medio acuoso, midiendo la pérdida de masa cada 5 días por un mes.

3.6. Recolección y ordenamiento de datos

El estudio principal de esta investigación es el desarrollo de un biopolímero comestible que pueda ser utilizado como plato desechable, al cual se le reforzarán sus propiedades mecánicas con la adición de distintos aditivos.

A continuación se describen las metodologías a implementar para la recolección y ordenamiento de la información.

- Formulación para la elaboración del biopolímero comestible.
- Pruebas de moldeo al biopolímero comestible en forma de plato desechable mediante el proceso de termocompresión.
- Pruebas de cocción del biopolímero comestible.
- Evaluación del contenido de fibra neutrodetergente al biopolímero comestible obtenido y a la materia prima.

- Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido utilizando los métodos oficiales de análisis de la AOAC Internacional.
- Análisis microbiológico al biopolímero comestible obtenido utilizando los métodos oficiales de análisis de la AOAC Internacional.
- Evaluación sensorial al biopolímero comestible obtenido.
- Degradación del biopolímero comestible obtenido.

3.6.1. Formulación para la elaboración del biopolímero comestible

- Se midió la masa en gramos necesaria de harina cruda de maíz (*Zea mays*).
- Se midió la masa en gramos necesaria de goma xantana.
- Se midió la masa en gramos necesaria de butilhidroxitolueno (BHT).
- Se midió la masa en gramos necesaria de glicerina.
- Se midió la masa en gramos necesaria de agua purificada.
- Se agregó cada componente de manera secuencial dejando espacios de tiempo para obtener una mezcla homogénea uniforme.
- Se verificó que la mezcla se encuentre bien hidratada y compactada.

3.6.2. Pruebas de moldeo al biopolímero comestible en forma de plato desechable mediante el proceso de termocompresión

- Se acondicionó el equipo.
- Se encendió y se estableció una temperatura de termocompresión adecuada.
- Se colocó en el molde la cantidad necesaria de gramos muestra.

- Se comprimió la muestra para da forma de plato desechable estableciendo presión y tiempo.
- Transcurrido el tiempo adecuado, se liberó la presión y retiró la muestra del molde.
- Se verificó la apariencia del biopolímero comestible en forma de plato desechable.

3.6.3. Pruebas de cocción del biopolímero comestible

- Se colocó el biopolímero comestible obtenido del proceso de moldeo portermocompresión en un horno convencional a temperatura de 101 °C.
- Se estableció un tiempo de cocción adecuado, observando su apariencia física cada 5 minutos.
- Se verificó que el biopolímero se encuentre sin humedad al finalizar el tiempo de cocción.

3.6.4. Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido utilizando los métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional

El análisis proximal se clasifica en:

3.6.4.1. Determinación del porcentaje de humedad, AOAC M.14.003 13^a 1980

- Se preparó una caja de aluminio en forma rectangular con medidas de 10 cm de largo, 7 cm de alto y 1,5 cm de ancho.

- Si la muestra a analizar se encontraba con un granulado grueso, se procedió a molerla.
- Se pesó la caja de aluminio y se colocó directamente 6,1 g de muestra a analizar.
- La forma correcta de colocar la muestra fue colocar una capa de igual espesor que cubra toda el área de la caja de aluminio.
- Se colocó la caja de aluminio con la muestra dentro de un horno convencional a 101 ± 1 °C por 12 horas.
- Con pinzas, se pasó la caja de aluminio con la muestra a una desecadora hasta que alcanzó la temperatura ambiente.
- Aproximadamente después de 30 minutos, se pesó la caja de aluminio con la muestra seca y se anotó el dato.

$$\%Humedad (H) = \frac{mh - ms}{mh - m} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde:

%Humedad (H) = porcentaje de humedad

mh = peso de la caja de aluminio con la muestra húmeda (gramos)

ms = peso de la caja de aluminio con la muestra seca (gramos)

m = peso de la caja de aluminio vacía (gramos)

3.6.4.2. Determinación del porcentaje de grasa, AOAC 2003.05 18ª edición 2006

- Se colocó un vidrio de reloj y una toalla de papel en una balanza analítica y posteriormente se taró.
- Se pesó 5g de la muestra a analizar.
- Se envolvió la muestra a fin de hacer una envoltura en forma de dulce.

- Se tomó una segunda toalla y se envolvió de la misma manera.
- Se encendió el equipo.
- Se abrió la llave de agua fría del equipo para que fluya en los condensadores.
- Se colocó la muestra dentro de un dedal.
- Se ajustó los dedales a un anillo de acero inoxidable.
- Se insertó los dedales en los condensadores colocando las perillas en posición de lavado.
- Se movió las perillas en posición de calentamiento donde el imán tomó rápidamente al dedal.
- Se colocó las perillas en posición de lavado, el dedal quedó colgando.
- Se midió la masa de los vasos que fueron secados previamente por 1 hora a 101 °C, se anotó el dato.
- Se colocó 60ml de bencina de petróleo en los vasos a utilizar.
- Se colocó los vasos en la plancha de calentamiento del equipo.
- Se bajó la palanca de los condensadores.
- Se colocó cada perilla en posición de calentamiento, quedando los dedales sumergidos en el solvente.
- Se abrió la llave de los condensadores.
- Se efectuó la extracción durante 2 horas.
- Se colocó cada perilla en posición de lavado, quedando los dedales colgados.
- Se efectuó un tiempo de lavado de 15 minutos.
- Se cerró la válvula de los condensadores.
- Se estableció un tiempo de 10 minutos para recuperar el solvente.
- Se cerró la llave de agua.
- Se retiró y colocó cada vaso en un horno a 101 °C utilizando pinzas por 1 hora.

- Se recuperó la bencina de petróleo en un *beaker*, abriendo las válvulas del condensador.
- Al finalizar el tiempo, cada vaso fue colocado en una desecadora por 30 minutos hasta atemperar.
- Se midió la masa de los vasos y se anotó el dato.

$$\%Grasa (G) = \frac{vg-v}{m} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

Donde:

%Grasa (G) = porcentaje de gasa

vg = peso del vaso con la grasa (gramos)

v = peso del vaso (gramos)

m = peso de la muestra (gramos)

3.6.4.3. Determinación del porcentaje de proteína por combustión, AOAC 992.23.

- Cada muestra se secó por 12 horas a 101 °C en un horno convencional.
- Se colocó un foil en el portafoil en una balanza y se taró.
- Se midió 0,200 gramos de la muestra y posteriormente se dobló el foil en forma de bola.
- Se colocó cada muestra en un portamuestras.
- Se colocó cada muestra en el equipo.
- Se encendió la computadora e ingresó al sistema.
- Se ingresó la muestra en el software, se colocó en la primera columna el nombre de la muestra, en la siguiente se colocó el peso de la muestra, y por último el nombre del análisis.

- Se verificó que el factor de cálculo para proteína sea de 6,5 para muestra de maíz.
- Se presionó analizar.
- Se tomó el dato de porcentaje de proteína y nitrógeno.

$$\%Proteína (P) = \%N * 6,5 \quad (Ecuación No. 3)$$

Donde:

%Proteína (P) = porcentaje de proteína

%N: porcentaje de nitrógeno

3.6.4.4. Determinación del porcentaje de cenizas, AOAC 08-01 8ª ed 1983.

- Se colocó cada crisol a utilizar en un horno convencional a 100 °C por 1 hora.
- Se atemperó cada crisol en una desecadora por 30 minutos.
- Se midió la masa de los crisoles utilizando pinzas o guantes y se anotó el dato.
- Se pesó 1 gramo de muestra.
- Se acondicionó la mufla de la siguiente manera.
- Se encendió la mufla en el botón ON.
- Se giró el control de poder calorífico a 90 WATT.
- Se colocó el selector de voltaje en posición HIGH hasta alcanzar 600°C de temperatura.
- Se colocó el selector de voltaje en posición LOW.
- Se calcinó la muestra durante 3 horas.
- Se apagó la mufla OFF.

- Se dejó que la mufla enfríe y se sacaron los crisoles al siguiente día.
- Se midió la masa de los crisoles y se anotó el dato.

$$\%Ceniza (C) = \frac{cf-c}{ci-c} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 4})$$

Donde:

%Ceniza (C) = porcentaje de ceniza

cf = peso del crisol con la ceniza después de calcinar (gramos)

ci = peso del crisol con la muestra antes de calcinar (gramos)

c = peso del crisol (gramos)

3.6.4.5. Determinación de actividad de agua, AOAC 978.18

- Se pulverizó la muestra.
- Se limpió por fuera y por dentro la copa del equipo asegurándose que no contenga partículas.
- Se llenó la copa con la muestra.
- Se colocó la copa con la muestra dentro de la cámara del equipo.
- Se cerró la cámara del equipo.
- Se esperó 3 minutos y se anotó el dato de actividad de agua (a_w).

3.6.5. Análisis microbiológico al biopolímero comestible obtenido utilizando los métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC) Internacional

El análisis microbiológico se clasifica en:

3.6.5.1. Recuento de enterobacterias, AOAC 2003.01

- Se pulverizó la muestra, en la bolsa que la contenga.
- Se tomó una botella de agua peptonada diluida al 0,1 %, se destapó y flameó la boquilla.
- Se colocó la botella en la balanza analítica y se taró.
- Se limpió el área donde se abrió la bolsa con alcohol.
- Se cortó la bolsa utilizando una tijera previamente limpiada con alcohol.
- Se colocó 10 gramos de muestra en la botella de agua peptonada sin tocar sus paredes.
- Se tapó y agitó para homogenizar.
- Se colocó placas petrifilm sobre una superficie lisa y plana previamente limpiada con alcohol.
- Se levantó la lámina superior y sembró 1mL de muestra en el centro de la lámina.
- Se bajó la lámina superior y se presionó cuidadosamente con un esparcidor plástico en el centro de la placa, sin deslizarlo.
- Se identificó cada placa petrifilm.
- Se incubó cada placa a 36 °C por 24 horas.
- Se contó las colonias presentes en las placas.
- Se identificó como enterobacterias a colonias con zona ácida (amarilla), colonias asociadas con gas, colonias con zona ácida asociada a burbujas de gas.

$$\frac{UFC}{g} = \text{No. de colonias contadas} * \text{dilución utilizada} \quad (\text{Ecuación No. 5})$$

3.6.6. Evaluación sensorial al biopolímero comestible

- Se tomó una muestra del producto terminado.
- Se evaluó el atributo de aroma, color, apariencia, textura y sabor.
- Se ponderó cada atributo utilizando una escala de valoración de 1 a 5, donde 1 representó una característica desagradable y 5 una característica muy agradable.
- El criterio de aprobación del producto se encuentra en un rango de 5 - 3,50.
- El criterio de rechazo del producto se encuentra en una valoración menor a 3,50.

3.6.7. Degradación del biopolímero comestible

- Se cortó dos secciones del biopolímero comestible obtenido.
- Se midió la masa en gramos de cada sección.
- Se midió la masa en gramos de dos recipientes para contener las secciones del biopolímero.
- Se colocó una sección del biopolímero en un recipiente.
- Se agregó una cantidad suficiente de agua para cubrir la porción del biopolímero.
- Se midió la masa en gramos del recipiente que contiene el agua y la porción del biopolímero.
- En otro recipiente se colocó la otra sección del biopolímero.
- Se midió la masa en gramos del recipiente que contiene la muestra.
- Se dejó expuesto al medio ambiente.
- Se midió la masa en gramos de los recipientes cada 5 días por un mes.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La tabulación y ordenamiento de datos se clasifica en:

Tabla XIII. **Formulación para la elaboración del biopolímero comestible**

Repetición	Harina Cruda de maíz (g)	Goma Xantana (g)	BH T (g)	Glicerina (g)	Agua purificada (g)	Tiempo de agitación
						t1
						t2
						t3
						t4
						t5
2						t1
						t2
						t3
						t4
						t5
3						t1
						t2
						t3
						t4
						t5
4						t1
						t2
						t3
						t4
						t5
5						t1
						t2
						t3
						t4
						t5
<p>t1 = tiempo de agitación de la harina cruda de maíz (<i>Zea mays</i>). t2= tiempo de agitación de la goma xantana. t3= tiempo de agitación del BHT. t4= tiempo de agitación de la glicerina y agua. t5= tiempo de agitación de los ingredientes secos y húmedos.</p>						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Temperatura, presión y tiempo para el proceso de moldeo por termocompresión**

Repetición	Temperatura (°C)	Presión (psi)	Tiempo (min)	Características
1				
2				
3				
4				
5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Tiempo de cocción del biopolímero comestible medido cada 5 minutos**

Repetición	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Características
1	101		
2	101		
3	101		
4	101		
5	101		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Contenido de fibra neutrodetergente de la harina cruda de maíz (*Zea mays*) y del biopolímero comestible obtenido**

Repetición	Fibra neutro detergente (%)	Fibra neutro detergente (%)
	Harina Cruda de maíz (<i>Zea mays</i>)	Biopolímero obtenido
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido**

Repetición	Humedad (%)		Grasa (%)		Ceniza (%)		Proteína (%)		Actividad de agua (a_w)
1	m		m		c		%N		
	mh		v		ci				
	ms		vg		cf		%P		
	%H		%G		%C				
2	m		m		c		%N		
	mh		v		ci				
	ms		vg		cf		%P		
	%H		%G		%C				
3	m		m		c		%N		
	mh		v		ci				
	ms		vg		cf		%P		
	%H		%G		%C				
4	m		m		c		%N		
	mh		v		ci				
	ms		vg		cf		%P		
	%H		%G		%C				
5	m		m		c		%N		
	mh		v		ci				
	ms		vg		cf		%P		
	%H		%G		%C				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis microbiológico al biopolímero comestible**

Repetición	No. de colonias contadas	Enterobacterias (UFC/g)
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Evaluación sensorial al biopolímero comestible**

EVALUACIÓN SENSORIAL					
Instrucciones: evalúe la muestra presentada, calificando de 1 a 5. El valor 1 representa desagradable y 5 muy agradable.					
Fecha: _____					
Muestra	Atributo a evaluar				
	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Evaluación de degradación al biopolímero comestible expuesto al medio ambiente**

Repetición	Medio ambiente			
	Tiempo (días)	Peso del contenedor vacío (g)	Peso del contenedor con la muestra (g)	Masa del biopolímero (g)
1	0			
	5			
	10			
	15			
	20			
	25			
	30			
2	0			
	5			
	10			
	15			
	20			
	25			
	30			
3	0			
	5			
	10			
	15			
	20			
	25			
	30			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Evaluación de degradación al biopolímero comestible expuesto en agua**

Repetición	Agua				
	Tiempo (días)	Peso del contenedor vacío (g)	Peso del contenedor con agua (g)	Peso del contenedor con la muestra (g)	Masa del biopolímero (g)
1	0				
	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
	30				

Continuación de la tabla XXI.

Repetición	Agua				
	Tiempo (días)	Peso del contenedor vacío (g)	Peso del contenedor con agua (g)	Peso del contenedor con la muestra (g)	Masa del bipolímero (g)
2	0				
	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
	30				
3	0				
	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
	30				

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se utilizó las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión o variabilidad para llevar a cabo el análisis estadístico, con el fin de evaluar la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

3.8.1. Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central son valores medios o centrales de una distribución que sirven para ubicarla dentro de la escala de medición de la variable.

Se determinó la media aritmética de un conjunto de valores $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}$ de una variable x , dada por la suma de todos los valores y dividida por el

número de casos o muestra, representada matemáticamente de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ecuación No. 8})$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética

$\sum_{i=1}^n x_i$ = sumatoria de valores

n = número de casos o muestra

3.8.2. Medidas de dispersión o variabilidad

Las medidas de dispersión o variabilidad indican la dispersión de los datos en la escala de medición de la variable considerada. Se determinará la desviación estándar y la varianza.

3.8.2.1. Desviación estándar

La desviación estándar indica cuánto se desvía de la media aritmética un conjunto de datos, representada matemáticamente de la siguiente manera:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Ecuación No. 9})$$

Donde:

S = desviación estándar

x_i = valor de la muestra

\bar{x} = media aritmética

n = número de casos o muestra

3.8.2.2. Varianza

La desviación estándar elevada al cuadrado es representada matemáticamente de la siguiente manera:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (\text{Ecuación No. 10})$$

Donde:

S^2 = varianza

x_i = valor de la muestra

\bar{x} = media aritmética

n = número de casos o muestra

3.8.3. Análisis de varianza, ANOVA

Prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. La hipótesis de investigación propone que los grupos difieren significativamente entre sí y la hipótesis nula propone que los grupos no difieren significativamente.

Tabla XXII. **Análisis de varianza, ANOVA**

Origen de variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F (calculada)	Valor crítico de F
Tratamientos	SST	k - 1	MST	MST/MSE	Si $\alpha=0,05$
Error	SSE	k (n - 1)	MSE		
Total	TSS	kn - 1			

Fuente: elaboración propia.

3.8.3.1. **Suma de cuadrados de los tratamientos (corridas)**

$$SST = n \sum_i (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2 \quad (\text{Ecuación No. 11})$$

Donde:

SST = suma de cuadrados de los tratamientos

\bar{y}_i = tratamientos

$\bar{y}_{..}$ = media aritmética de los tratamientos

n = número de casos o muestra

3.8.3.2. **Suma de los cuadrados del error**

$$SSE = \sum_{ij} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (\text{Ecuación No. 12})$$

Donde:

SSE = suma de cuadrados del error

$\overline{y_{ij}}$ = tratamientos

$\overline{y_{i.}}$ = media aritmética de los tratamientos

3.8.3.3. Suma total de cuadrados

$$TSS = \sum_{ij}(y_{ij} - \overline{y_{i.}})^2 \quad (\text{Ecuación No. 13})$$

Donde:

TSS = suma de cuadrados del error

y_{ij} = tratamientos

$\overline{y_{i.}}$ = media aritmética de los tratamientos

3.8.3.4. Promedio de los cuadrados

$$MST = \frac{SST}{k-1} \quad (\text{Ecuación No. 14})$$

$$MSE = \frac{SSE}{k(n-1)} \quad (\text{Ecuación No. 15})$$

Donde:

MST = promedio de los cuadrados por tratamientos

MSE = promedio de los cuadrados por error

k = corridas

N = repeticiones

3.8.3.5. F (calculada)

$$F = \frac{MST}{MSE} \quad (\text{Ecuación No. 16})$$

Donde:

MST = promedio de los cuadrados por tratamientos

MSE = promedio de los cuadrados por error

3.9. Plan de análisis de los resultados

El análisis de los resultados cuantitativos y cualitativos se realizó utilizando distintos métodos y programas.

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

Para determinar si la harina cruda de maíz (*Zea mays*), junto con la adición de los aditivos para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas como la flexibilidad y dureza, eran una materia prima adecuada para generar un biopolímero comestible, el análisis de los resultados cuantitativos se llevó a cabo de manera estadística, matemática, gráfica y cualitativa.

3.9.2. Programas a utilizar para el análisis de datos

Los programas para el análisis de datos son:

3.9.2.1. Microsoft Office Excel 2010

Se utilizó dicho software para llevar a cabo cálculos, tablas y análisis estadísticos, con el fin de poder observar si el biopolímero cumple con las características adecuadas.

3.9.2.2. Microsoft Office Word 2010

Se utilizó dicho software para la agrupación y presentación de la información obtenida durante la investigación.

4. RESULTADOS

Tabla XXIII. **Formulación óptima para la elaboración del biopolímero comestible**

Harina cruda de maíz (g)	Goma Xantana (g)	BHT (g)	Glicerina (g)	Agua purificada (g)
58,04	1,00	0,02	13,66	27,28

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Temperatura, presión y tiempo óptimos para el proceso de moldeo por termocompresión**

Temperatura (°C)	Presión (psi)	Tiempo (min)
90	75	1,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Tiempo de cocción óptimo del biopolímero comestible**

Temperatura (°C)	Tiempo (min)
101	45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Contenido de fibra neutrodetergente de la harina cruda de maíz (*Zea mays*) y del biopolímero comestible obtenido**

Fibra neutro detergente (%)	Fibra neutro detergente (%)
Harina Cruda de maíz (<i>Zea mays</i>)	Biopolímero obtenido
41,18	43,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido**

Humedad (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)	Actividad de agua (a_w)
19,06	5,45	1,78	8,03	0,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Análisis microbiológico al biopolímero comestible**

No. de colonias contadas	Enterobacterias (UFC/g)
0	<10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Evaluación sensorial al biopolímero comestible**

EVALUACIÓN SENSORIAL					
Instrucciones: evalúe la muestra presentada, calificando de 1 a 5. El valor 1 representa desagradable y 5 muy agradable.					
Fecha: 26/02/2021					
Muestra	Atributo a evaluar				
	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
1	4	5	5	4	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Evaluación de degradación al biopolímero comestible**

Medio ambiente			Medio acuoso		
Masa inicial (g)	Masa final (g)	Porcentaje de masa perdida (%)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Porcentaje de masa perdida (%)
62	58,43	5,76	62	47,81	22,89

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El desarrollo de un biopolímero en forma de plato desechable cuya finalidad sea un producto alimenticio alternativo y un sustituto de los plásticos convencionales es una investigación moderna, debido a que en la actualidad la ciencia pretende desarrollar bioplásticos a partir de fuentes renovables, principalmente debido a la preocupación por la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y la dependencia del uso de los plásticos convencionales derivados del petróleo.

El desarrollo del biopolímero comestible en forma de plato desechable se llevó a cabo mediante el uso de harina cruda de maíz (*Zea mays*) como materia prima renovable, obtenida a través del proceso de la molienda en seco de maíz. El uso de este coproducto se dio con la finalidad de evaluar su efectividad en la elaboración de dicho biopolímero, ya que esta cuenta con un gran valor nutricional, alta digestibilidad y palatabilidad, sin embargo, para la elaboración óptima del bioplástico fue necesaria la incorporación de un agente plastificante, un agente aglutinante, un antioxidante alimenticio y agua purificada.

El uso y la combinación de un agente plastificante y aglutinante tiene un efecto positivo y significativo en el refuerzo de las propiedades mecánicas de los biopolímeros obtenidos a partir de fuentes renovables, ya que, cuando se adiciona el plastificante, en este caso un alcohol polivinílico (glicerina), se restablecen nuevas interacciones moleculares entre este y la cadenas poliméricas generando mayor movilidad y facilidad de vibración de los grupos hidroxilo, reduciendo la fragilidad y mejorando la flexibilidad del producto biopolimérico, y al adicionar un agente aglutinante, siendo en este caso la goma

xantana, un heteropolisacárido ramificado sintetizado por distintas especies de bacterias *Xanthomonas*, principalmente *X. campestris* proporciona propiedades funcionales como espesor, gelificación, adhesividad, entre otras.

El uso del antioxidante alimenticio se debió a que, por contener la harina cruda la porción del germen del grano de maíz, la cual contiene la mayoría de los lípidos, estos ácidos grasos insaturados pueden tornarse rancios, ya que en la autoxidación se generan compuestos que mantienen y aceleran la reacción, sintetizando sustancias de bajo peso molecular como aldehídos, cetonas, ácidos y otros compuestos que confieren el olor típico de grasa oxidada. Como antioxidante el butilhidroxitolueno (BHT), y por ser un donador de protones, no detiene la formación de los radicales, sino que reacciona con ellos y los estabiliza, produce radicales del antioxidante menos activos pero estables por su resonancia, ya que no promueven la oxidación como lo hacen los radicales de los ácidos grasos, prolongando la no oxidación y la vida anaquel del producto. Por último, el agua purificada fue utilizada para la incorporación de todos los ingredientes.

Se realizó 5 formulaciones utilizando distintas proporciones de los componentes, harina cruda de maíz (*Zea mays*), glicerina, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT) y agua purificada, así mismo su tiempo de agitación para obtener una mezcla final adecuada.

Para ajustar la proporción a utilizar de los componentes químicos se consultó el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA)-Aditivos Alimentarios, teniendo en cuenta con ello la cantidad máxima permitida a utilizar, evitando perjudicar la salud del consumidor. La tabla XXIII muestra la formulación óptima para la elaboración del biopolímero comestible en forma de plato desechable, utilizando la cantidad de 58,04g de harina cruda de maíz, 1,00 g de goma

xantana, 0,02g de butilhidroxitolueno (BHT), 13,66 g de glicerina y 27,28 g de agua purificada. El análisis de varianza ANOVA indicó que para las distintas proporciones de los componentes existe diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95 %, haciendo efectivo el uso de harina cruda de maíz para la elaboración de un bioplástico a partir de harina cruda de maíz.

Al evaluar la temperatura, presión y tiempo para el proceso de moldeo por termocompresión en un rango de 100 °C – 85 °C, 50 psi – 80 psi y 2,50 min - 0,37 min, se determinó que las condiciones óptimas para el moldeo del biopolímero en forma de plato desechable fueron de 90 °C de temperatura, 75psi de presión y 1 minuto con 26 segundos de tiempo, estos datos se muestran en la tabla XXIV. A estas condiciones el proceso de moldeo por termocompresión fue apto, ya que, al depositar una muestra de masa de 80 gramos en un molde de acero inoxidable de 11,5 cm diámetro interno, 14,2 cm diámetro externo, 1,7 cm de altura y 0,3 cm de ancho, la formación del bioplástico fue apropiada, debido a que no presentó grietas, burbujas o adherencia al molde, como llega a suceder si se aumentan o disminuyen dichas variables.

La tabla XXV muestra el tiempo óptimo de cocción del biopolímero comestible en un horno convencional a temperatura constante de 101 °C, siendo de 45 minutos, este se determinó evaluando las características físicas de la muestra cada 5 minutos por un lapso de tiempo de 75 minutos, se observó que a los 45 minutos la muestra no presentó humedad, resequedad o formación de fisuras, como se apreció a un tiempo mayor de exposición al calor. Debido a que la muestra posee un grosor alto, por sus propiedades químicas y por la incapacidad de variar la temperatura del horno, la transferencia de calor y masa fue lenta en el proceso, ya que la difusión de las moléculas de vapor de agua de la muestra en las moléculas de aire fue tardada, lo cual se vio reflejado en el tiempo total de cocción del producto biopolimérico.

Se llevó a cabo el análisis de fibra neutrodetergente a la harina cruda de maíz (*Zea mays*) a 5 muestras del biopolímero comestible obtenido, y se evaluó si permanecía, aumentaba o disminuía, debido a que el análisis indica el contenido de fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) en un alimento, dichos polisacáridos constituyen la estructura celular y les confieren rigidez a los tejidos. La tabla XXVI muestra que la harina cruda de maíz presentó 41,18 % de fibra neutrodetergente y en cada una de las muestras se aprecia un aumento de la misma, obteniendo una media de las 5 muestras del biopolímero obtenido de 43,94 %, observando que dicho contenido aumentó con la adición de los compuestos químicos utilizados para su elaboración.

A pesar de que dichos polisacáridos por su naturaleza confieren rigidez, pueden presentarse como un aglutinante en la harina cruda de maíz, sin embargo, su aporte fue insuficiente para la elaboración del biopolímero en forma de plato desechable, debido a ello fue indispensable adicionar un plastificante y un aglutinante a la formulación. La cantidad de celulosa presente en la muestra aporta rigidez, alta resistencia mecánica y química, debido a que sus cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas. La hemicelulosa localizada principalmente en la pared celular actúa como un agente cementante en el tejido vegetal aportando propiedades de adhesividad, resistencia, absorbente de agua, entre otras. La lignina localizada en la pared celular de las células vegetales brinda dureza y resistencia a los mismos.

Se realizó un análisis proximal al biopolímero comestible obtenido con la finalidad de evaluar su contenido nutricional, se determinó su porcentaje de humedad, grasas, ceniza, proteína y actividad de agua. En la tabla XXVII se observa una media de 5 muestras para cada propiedad, siendo 19,06 % de

humedad, este porcentaje representó el contenido de agua que posee el alimento e indicó con ello una humedad alta, debido a que la harina cruda de maíz es una materia prima higroscópica por su gran contenido de fibra al poseer el salvado de maíz, así mismo, del análisis de fibra neutrodetergente se obtuvo que los polisacáridos presentes por su naturaleza poseen una gran capacidad de retener agua, sin que haya liberación del líquido.

Al realizar el análisis del contenido de grasa del producto terminado se obtuvo 5,45 %, este porcentaje representó los aceites vegetales, principalmente triglicéridos de ácidos grasos presentes en el producto alimenticio, debido a que tres moléculas de ácidos grasos reaccionan con una molécula de glicerol, formando una molécula de aceite o triglicérido.

Se obtuvo 1,78 % de ceniza en el producto alimenticio, este porcentaje indicó la composición de minerales presentes en la materia inorgánica después de haber calcinado la materia orgánica de la muestra, siendo: calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), cinc (Zn), cobre (Cu), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), entre otros. Estos minerales son elementos químicos simples cuya presencia e intervención es indispensable para la actividad celular y conservación de la salud. Una de las funciones principales de algunos minerales como el Ca, P y Mg es dar consistencia al esqueleto, el Fe es el componente principal de la hemoglobina, el Na y K cumplen funciones de transporte facilitando el paso de sustancias a través de la membrana celular.

Al realizar el análisis de proteína del producto se obtuvo un porcentaje de 8,03 %, cantidad alta y apropiada, ya que representa la cantidad de uno de los tres macronutrientes presentes en el alimento, siendo los otros dos los hidratos de carbono y los lípidos. Las propiedades funcionales y nutricionales de las proteínas incluyen formar parte de la estructura básica de los tejidos (músculos,

tendones, piel, entre otros) durante los procesos de crecimiento y desarrollo, crean, reparan y mantienen los tejidos corporales, desempeñan funciones metabólicas, asimilan nutrientes, son transportadoras de oxígeno y de grasas en la sangre, regulan vitaminas liposolubles y minerales, entre otros.

Finalmente se realizó el análisis de la actividad de agua al biopolímero terminado, se obtuvo 0,68, dicho parámetro representa el contenido de agua libre en el alimento, es decir que tiene movilidad o disponibilidad para el crecimiento de microorganismos, la actividad química y enzimática durante su conservación. Su valor se encuentra en un rango de 0 - 1, donde cero representa un producto seco y 1 un producto con un alto contenido de agua libre, se considera un dato aceptable de 0,4 de actividad de agua, para evitar el crecimiento de microorganismos en el alimento y prologar la vida anaquel del mismo, sin embargo, la actividad de agua obtenida se encontró arriba de dicho valor por sus propiedades químicas y físicas. Su valor es considerado por la FDA (Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos) para categorizar la seguridad de los alimentos.

Para descartar la presencia de microorganismos patógenos presentes en el biopolímero comestible terminado y evitar daños irreversibles en la salud del consumidor, se procedió a realizar un análisis microbiológico de enterobacterias al producto. El análisis constituye una familia grande y diversa de bacilos gramnegativos (*Bacillus Cereus*, *Campylobacter Jejuni*, *Clostridium Perfringens*, *Escherichia Coli*, *Listeria Monocytogenes*, *Salmonella Spp*, *Staphylococcus Aureus*, *Vibrio Spp*, *Yersinia Enterocolitica*). En la tabla XXVII se observa que no hubo formación de colonias de dichos microorganismos en las muestras analizadas, por lo que se obtuvo < 10UFC/g de enterobacterias, el resultado indicó la ausencia de cualquier microorganismo patógeno antes mencionado en

el producto terminado, estableciendo con ello la inocuidad del biopolímero comestible.

Se realizó una evaluación sensorial al biopolímero comestible terminado y se evaluó y calificó los atributos de aroma, color, apariencia, textura y sabor, cada uno con un valor de 1 a 5, representando el valor mínimo como desagradable y el valor máximo como muy agradable. En la tabla XXIX se puede observar que se obtuvo una calificación de 4 para aroma, 5 para color, 5 apariencia, 4 textura y 3 sabor.

Al ser el producto una alternativa de los plásticos convencionales de origen fósil, se realizó una evaluación de degradación al biopolímero terminado durante un lapso de tiempo de 30 días y se evaluó la pérdida de masa al ser expuesto al medio ambiente y en medio acuoso. Al ser el producto expuesto al medio ambiente su masa inicial fue de 62,00 g, su masa final de 58,43 g y su porcentaje de masa perdida de 5,76 %, y al ser expuesto en medio acuoso su masa inicial fue de 62,00 g, una masa final de 47,81 g y su porcentaje de masa perdida de 22,89 %, para una media de 3 muestras en cada análisis, observándose en la tabla XXX.

Se puede observar que la pérdida de masa es más efectiva en medio acuoso reflejado en su porcentaje de masa perdida, presentando pérdida en su resistencia mecánica y deformación, por lo que el biopolímero formado puede ser utilizado como un sustituto de los plásticos convencionales, ya que es amigable con el medio ambiente. El análisis de varianza ANOVA indicó, con un nivel de confianza del 95 %, que existe diferencia significativa entre la pérdida de masa del biopolímero comestible en función del tiempo al ser expuesto al medio ambiente y en medio acuoso.

CONCLUSIONES

1. Fue efectivo el uso de harina cruda de maíz (*Zea mays*) coproducto de la molienda seca de maíz, compuesta principalmente por el pericarpio, germen y endospermo duro y fino para la elaboración de un biopolímero comestible en forma de plato desechable.
2. Se obtuvo una formulación óptima para la elaboración de un biopolímero comestible en forma de plato desechable utilizando las cantidades de 58,04g de harina cruda de maíz, 1,00 g de goma xantana, 0,02 g de butilhidroxitolueno (BHT), 13,66 g de glicerina y 27,28 g de agua purificada.
3. Al evaluar las condiciones para el proceso de moldeo del biopolímero en forma de plato desechable por termocompresión se determinó que, a 90 °C de temperatura, 75 psi de presión y 1 minuto con 26 segundos de tiempo, el proceso es óptimo y efectivo.
4. Se determinó que el tiempo óptimo de cocción del biopolímero comestible es de 45 minutos, evaluando sus características físicas cada 5 minutos en un horno convencional a temperatura constante de 101 °C.
5. Se obtuvo que la harina cruda de maíz posee un porcentaje de fibra neutrodetergente de 41,18 % y el biopolímero comestible terminado 43,94 %, indicando con ello un aumento en el producto terminado y el contenido de fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) en el alimento.

6. Al determinar el contenido nutricional que posee el biopolímero comestible terminado mediante un análisis proximal, se obtuvo que contiene 19,06 % de humedad, 5,45 % de grasa, 1,78 % de ceniza, 8,03 % de proteína y 0,68 de actividad de agua.
7. Se determinó la ausencia de microorganismos patógenos presentes en el biopolímero comestible terminado mediante un análisis microbiológico de enterobacterias, obteniendo < 10UFC/g, indicando un producto inocuo.
8. La evaluación sensorial realizada al biopolímero comestible terminado obtuvo una calificación de 4 para aroma, 5 para color, 5 apariencia, 4 textura y 3 sabor.
9. Al realizar el análisis de degradabilidad al biopolímero terminado, se determinó que su pérdida de masa es más efectiva al ser expuesto en medio acuoso, obteniendo un porcentaje de masa perdida de 22,89 % y un porcentaje de masa perdida de 5,76 % al ser expuesto al medio ambiente.

RECOMEDACIONES

1. Establecer el tamaño del molde en forma de plato desechable con unidades menores, debido a que la muestra original presenta un grosor alto, reduciendo así su tiempo de cocción y mejorando su apariencia física.
2. Realizar el análisis de esfuerzo de tensión, compresión y flexión para evaluar sus propiedades mecánicas.
3. Determinar el tiempo de vida anaquel del producto terminado, estableciendo distintas condiciones de temperatura, presión, tiempo y humedad relativa.
4. Mejorar el sabor del producto con la adición de un saborizante alimenticio para satisfacer las necesidades del consumidor.
5. Adicionar un conservante alimenticio a la formulación del biopolímero comestible para evitar el crecimiento de microorganismos patógenos en el producto y alargar su vida anaquel.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDA, Lucía. *Temas para la educación*. [en línea]. <<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>>. [Consulta: 20 de junio de 2019].
2. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. [en línea]. <<https://www.aoac.org/>>. [Consulta: 31 de mayo de 2020].
3. AVILÉS, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. [en línea]. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2273665>>. [Consulta: 14 de mayo de 2019].
4. BENNION MARION, Scheule Barbara. *Introductory Foods*. 14va ed. Estados Unidos: Pearson, 2004. 648 p.
5. CHOCANO, Ángel. *Recopilación Tecnológica de Agentes de textura y sus aplicaciones*. [en línea]. <<http://www.chefuri.net/usuarios/download/recopilacion/recopilacion2.pdf>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
6. ENRÍQUEZ, Mario; VELASCO, Reinaldo y ORTÍZ, Vicente. *Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón*. [en línea]. <<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].

7. European Bioplastics. *What are bioplastics? Material types, terminology and labels – an introduction*. [en línea]. <https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf>. [Consulta: 05 de mayo de 2019].
8. GONZÁLEZ, Yolanda; MEZA, Juan; GONZÁLEZ, Orfil y CÓRDOVA, Jesús. *Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano*. [en línea]. <<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a7.pdf>>. [Consulta: 10 de junio de 2019].
9. HERMIDA, Élida. *Polimeros*. <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf>. [en línea]. [Consulta: 08 de junio de 2019].
10. KIPLE, Kenneth and CONEÈ ORNELAS, Kriemhild. *The Cambridge World History of Food*. New York: Cambridge University Press, 2000. 2153 p.
11. KUMAR TRIPATHI, Durgesh; AHMAD, Parvaiz; SHARMA, Shivesh; KUMAR CHAUHAN, Devendra and KISHORE DUBEY, Nawal. *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms: Concepts and Controversies*. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos: Academic Press, 2018. 382 p.
12. LEZCANO, Elizabeth. *Agricultura, ganadería y pesca - Productos de maíz*. [en línea]. <<http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/edicione>>

s/54/productos/r54_05_ProductosMaiz.pdf>. [Consulta: 26 de mayo de 2019].

13. LUSAS, Edmund and ROONEY, Lloyd. *Snack Foods Processing*. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: CRC Press, 2007. 639 p.
14. PALACIOS ROJAS, Natalia. *Calidad nutricional e industrial de Maíz - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. México: CIMMYT, 2018. 162 p.
15. RODRÍGUEZ, Ariel. *Biodegradabilidad de materiales bioplásticos*. [en línea].
<https://www.researchgate.net/profile/Ariel_Rodriguez_Cuesta/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos/links/5bdb4e3492851c6b279f6d93/Biodegradabilidad-de-materiales-bioplasticos.pdf>. [Consulta: 14 de mayo de 2019].
16. SHARMA, Vivek; MOREAU Robert and SINGH, Vijay. *Increasing the value of hominy feed as a coproduct by fermentation*. [en línea].
<[file:///C:/Users/mmerl/Downloads/IND44063135%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mmerl/Downloads/IND44063135%20(1).pdf)>. [Consulta: 01 de junio de 2019].
17. UNE. 13432:2001: *Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje*. [en línea].
<<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>>. [Consulta: 07 de mayo de 2019].

18. VAN DEN, Oever Martien; MOLENVELD, Karin; VAN DER, Zee Maarten and BOS, Harriëtte. *Bio-based and biodegradable plasties – Facts and Figures*. [en línea]. <<http://dx.doi.org/10.18174/408350>>. [Consulta: 03 de mayo de 2019].

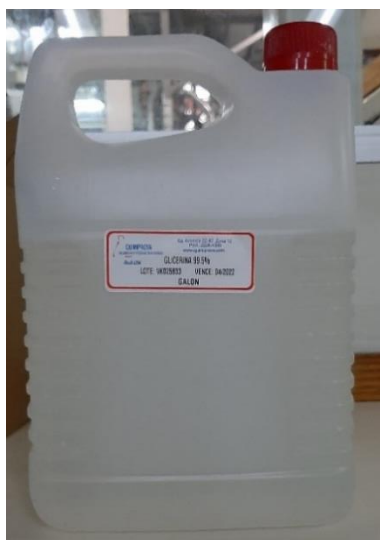
APÉNDICES

Apéndice 1. **Reactivos a utilizar**

Harina zotécnica o harina cruda de maíz



Glicerina vegetal USP, pureza 99,8 %

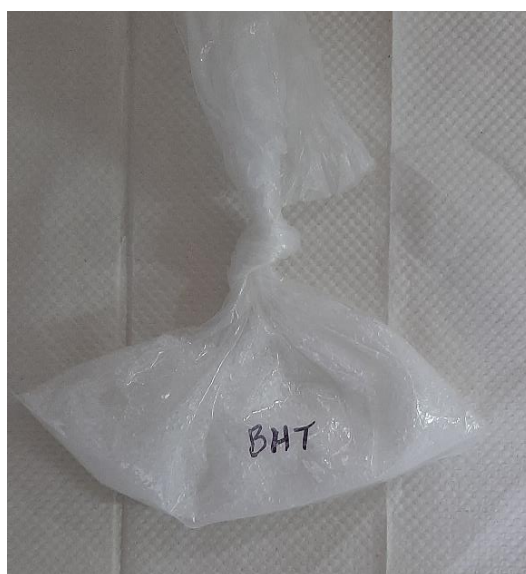


Continuación del apéndice 1.

Goma xantana, pureza 99,9 %

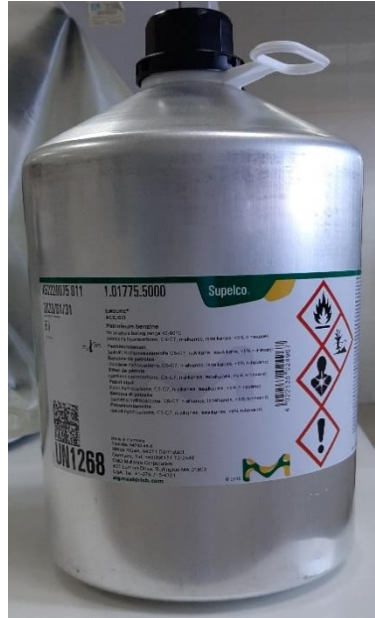


Butilhidroxitolueno (BHT), pureza 99,9 %

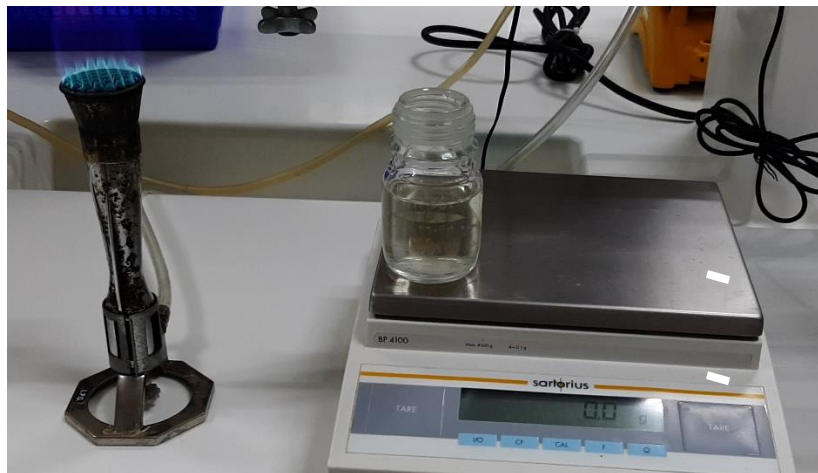


Continuación del apéndice 1.

Bencina de petróleo



Agua peptonada al 0,1 %



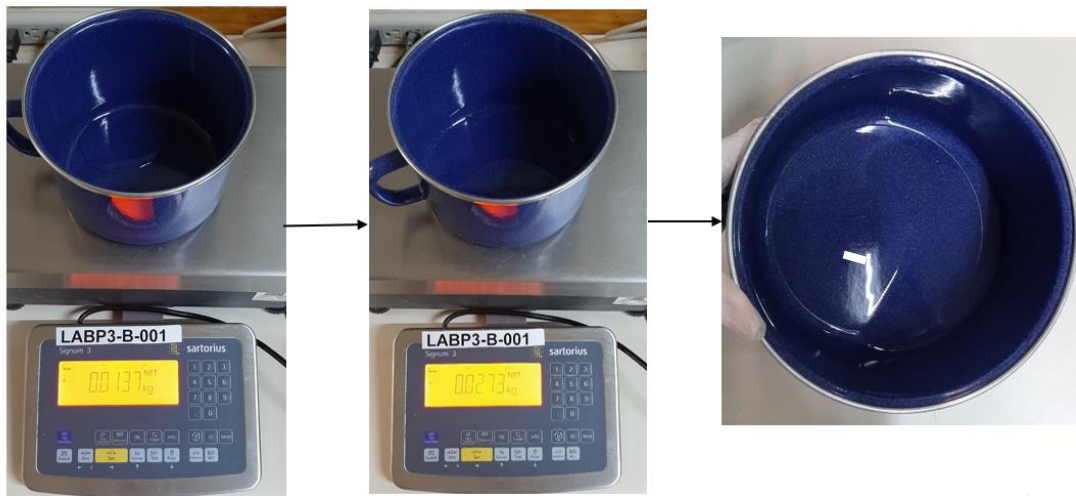
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Proceso para la elaboración de la masa del biopolímero**

Mezcla de harina cruda, goma xantana y butilhidroxitolueno (BHT)

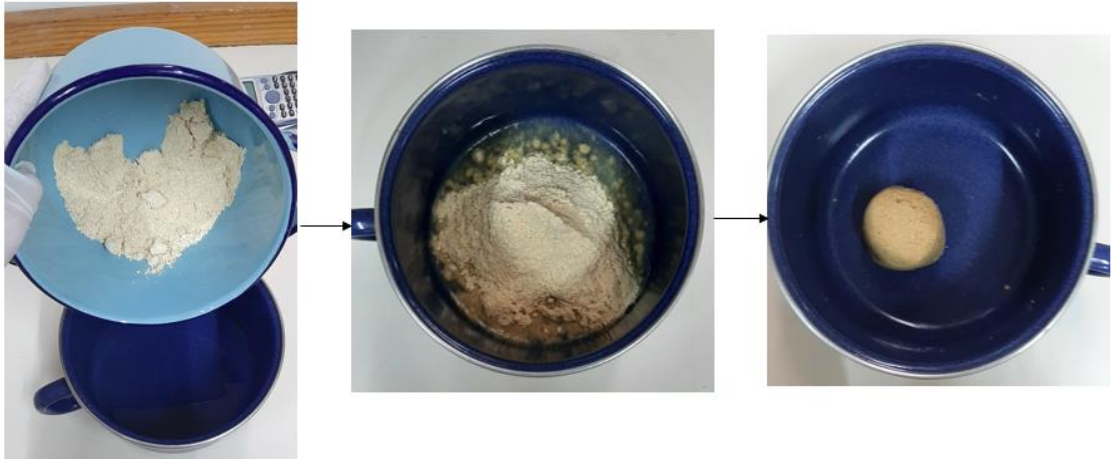


Mezcla de glicerina y agua purificada

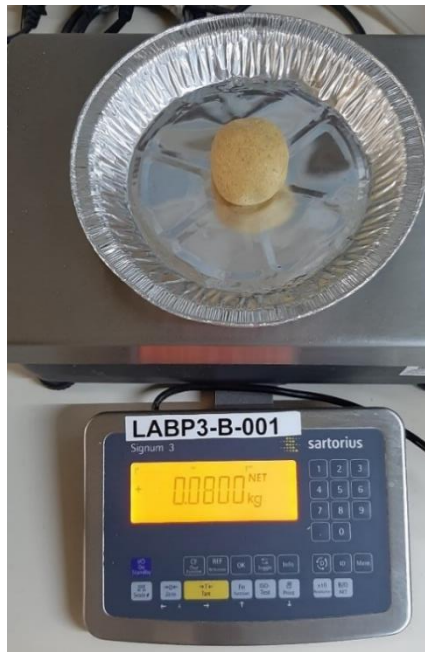


Continuación del apéndice 2.

Mezclar ingredientes secos y húmedos



Separación de 80 gramos de masa en base húmeda para la compactación del biopolímero en forma de plato desechable



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Compactación de la masa en base húmeda para la formación del biopolímero en forma de plato desechable**

Establecer temperatura, presión y tiempo

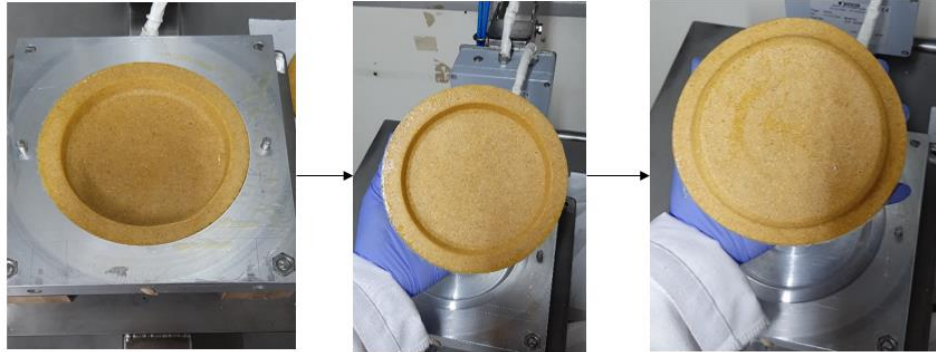


Masa de harina cruda de maíz en el molde y cerrar



Continuación del apéndice 3.

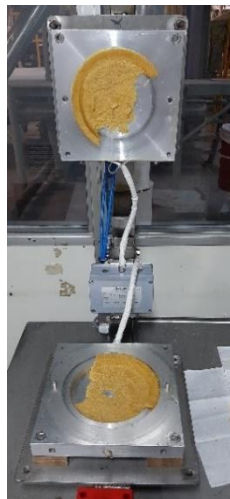
Biopolímero en forma de plato desechable después de la termocompresión



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Pruebas de cocción del biopolímero

Biopolímero al modificar la formulación y las variables de temperatura, presión y tiempo en el proceso de moldeo termocompresión



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Pruebas de cocción del biopolímero**

Muestras húmedas en el horno convencional a 101°C.



Muestras secas después del horneado a 101°C.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Análisis proximal al biopolímero**

Análisis de humedad



Análisis de grasa



Continuación del apéndice 6.

Análisis de ceniza



Análisis de proteína



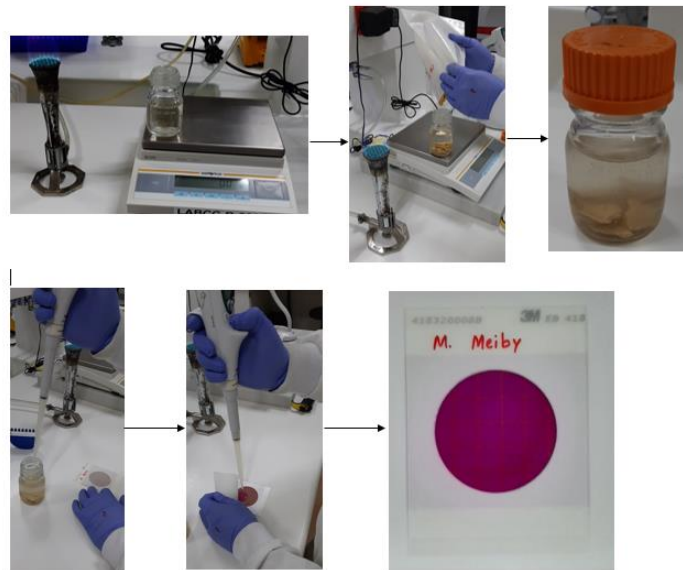
Continuación del apéndice 6.

Análisis de actividad de agua.



Fuente: elaboración propia

Apéndice 7. Análisis microbiológico, recuento de enterobacterias al biopolímero



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Muestra de cálculo

- Determinación de la cantidad de masa de cada componente para la elaboración del biopolímero

$$\%m/m = \frac{m_i}{m_t} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 0})$$

Donde:

$\%m/m$ = porcentaje de peso/peso

m_i : peso del componente (gramos)

m_t : peso total de la muestra (gramos)

Ejemplo:

Determinar la nueva cantidad de masa en gramos de la harina cruda si la cantidad total de la muestra es de 99,2g y la cantidad de harina cruda es de 58,51g.

Base de cálculo: 100g

$$\%m/m = \frac{58,51g}{99,2g} * 100$$

$$\% \frac{m}{m} = 58,39\%$$

$$m_{HC} = 58,39\% * 100g$$

$$m_{HC} = 58,39g$$

Continuación del apéndice 8.

- Determinación del porcentaje de humedad del biopolímero

$$\%Humedad (H) = \frac{mh-ms}{mh-m} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde:

%Humedad (H) = porcentaje de humedad

mh: peso de la caja de aluminio con la muestra húmeda (gramos)

ms: peso de la caja de aluminio con la muestra seca (gramos)

m: peso de la caja de aluminio vacía (gramos)

Ejemplo:

Determinar el porcentaje de humedad del biopolímero obtenido, para una muestra de 100 gramos, si el peso de la caja de aluminio vacía es de 0,5299g, el peso de la caja de aluminio con la muestra húmeda es de 6,6305g y el peso de la caja de aluminio con la muestra seca es de 5,5342g.

$$\%Humedad (H) = \frac{6,6305g - 5,5342g}{6,6305g - 0,5299g} * 100$$

$$\%Humedad (H) = 17,97\%$$

- Determinación del porcentaje de grasa del biopolímero

$$\%Grasa (G) = \frac{vg-v}{m} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

Continuación del apéndice 8.

Donde:

%Grasa (G) = porcentaje de grasa

vg: peso del vaso con la grasa (gramos)

v: peso del vaso (gramos)

m: peso de la muestra (gramos)

Ejemplo:

Determinar el porcentaje de grasa del biopolímero obtenido, para una muestra de 100 gramos, si el peso del vaso vacío es de 100,5161g, el peso del vaso con la grasa es de 100,7379g y el peso de la muestra es de 4,8555g.

$$\%Grasa (G) = \frac{100,7379g - 100,5161g}{4,8555g} * 100$$

$$\%Grasa (G) = 4,57\%$$

- Determinación del porcentaje de proteína del biopolímero

$$\%Proteína (P) = \%N * 6,5 \quad (\text{Ecuación No. 3})$$

Donde:

%Proteína (P) = porcentaje de proteína

%N: porcentaje de nitrógeno

Continuación del apéndice 8.

Ejemplo:

Determinar el porcentaje de proteína del biopolímero obtenido, para una muestra de 100 gramos, si el porcentaje de nitrógeno es de 1,2 %.

$$\%Proteína (P) = 1,2 \% * 6,5$$

$$\%Proteína (P) = 7,8\%$$

- Recuento de enterobacterias

$$\frac{UFC}{g} = No. de colonias contadas * dilución utilizada$$

(Ecuación No. 5)

Ejemplo:

Determinar la presencia de enterobacterias en el biopolímero obtenido mediante el recuento de colonias presentes en la muestra.

- Debido a que no se representaron colonias formadas como zonas amarillas, gas o burbujas, se descarta la presencia de enterobacterias en el biopolímero terminado, reportándose como <10 lo que equivale a cero.

$$\frac{UFC}{g} = < 10$$

$$Recuento de enterobacterias = < 10$$

Continuación del apéndice 8.

- Determinación del porcentaje de pérdida de masa del biopolímero.

$$\%mp = \frac{m_o - m_f}{m_o} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 6})$$

Donde:

%mp: porcentaje de masa perdida

m_o: masa inicial del biopolímero

m_f: masa final del biopolímero

Ejemplo:

Determinar el porcentaje de masa perdida del biopolímero obtenido, para una muestra que fue expuesta al medio ambiente, si su masa inicial fue de 62g y su masa final para los primeros 5 días fue de 61g.

$$\%mp = \frac{62 - 61}{62} * 100$$

$$\%mp = 1,61\%$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Formulación para la elaboración del biopolímero comestible**

Repetición	Harina Cruda de maíz (g)	Goma Xantana (g)	BHT (g)	Glicerina (g)	Agua purificada (g)	Tiempo de agitación (min)
1	58,51	0,20	0,02	13,77	27,50	1:30
						1:30
						1:30
						2:00
						2:00
2	58,39	0,40	0,02	13,74	27,44	1:30
						1:30
						1:30
						2:00
						2:00
3	58,27	0,60	0,02	13,71	27,39	1:30
						1:30
						1:30
						2:00
						2:00
4	58,16	0,80	0,02	13,69	27,33	1:30
						1:30
						1:30
						2:00
						2:00
5	58,04	1,00	0,02	13,66	27,28	1:30
						1:30
						1:30
						2:00
						2:00
t1 = tiempo de agitación de la harina cruda de maíz (<i>Zea mays</i>).						
t2= tiempo de agitación de la goma xantana.						
t3= tiempo de agitación del BHT.						
t4= tiempo de agitación de la glicerina y agua.						
t5= tiempo de agitación de los ingredientes secos y húmedos.						

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Temperatura, presión y tiempo para el proceso de moldeo por termocompresión**

Repetición	Temperatura (°C)	Presión (psi)	Tiempo (min)	Características
1	100	50	2,50	Muestra adherida al molde.
	100	60	2,33	Muestra agrietada en la parte inferior y superior.
	100	70	1,27	Muestra agrietada en el borde superior.
2	95	60	1,09	Muestra adherida a la parte superior del molde.
	95	70	1,08	Aumentar tiempo de compactación.
	95	80	0,37	Mala compactación, aumentar tiempo.
3	95	70	1,44	Muestra agrietada en la parte superior.
	95	75	1,44	Muestra agrietada en el borde inferior y superior.
	95	80	1,26	Muestras agrietada y presencia de burbujas.
4	85	70	1,26	Muestra adherida a la parte inferior del molde.
	85	75	1,26	Muestra adherida a la parte inferior del molde.
	90	70	1,45	Buena compactación, grietas, reducir tiempo.
5	90	75	1,26	Buena compactación, pocas grietas.
	90	70	1,26	Buena compactación, sin grietas.
	90	70	1,26	Buena compactación, sin grietas o burbujas.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Tiempo de cocción al biopolímero comestible medido cada 5 minutos**

Repetición	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Características
1	101	5	Muestras húmedas.
		10	Muestras húmedas.
		15	Muestras húmedas y blandas.
2	101	20	Muestras húmedas y blandas.
		25	Muestras húmedas y blandas.
		30	Muestras húmedas en la parte central.
3	101	35	Muestras poco húmedas en la parte central.
		40	Muestras secas, poco húmedas en la parte central.
		45	Muestras secas.
4	101	50	Muestras secas y agrietadas.
		55	Muestras secas y agrietadas.
		60	Muestras secas y agrietadas.
5	101	65	Muestras secas y agrietadas.
		70	Muestras secas y agrietadas.
		75	Muestras secas y agrietadas.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Contenido de fibra neutrodetergente de la harina cruda de maíz (*Zea mays*) y del biopolímero comestible obtenido**

Repetición	Fibra neutro detergente (%)	Fibra neutro detergente (%)
	Harina Cruda de maíz (<i>Zea mays</i>)	Biopolímero obtenido
1	41,18	43,59
2		45,14
3		44,36
4		43,75
5		42,87
Media		43,94
Desviación Estandar		0,85
Varianza		0,73

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Análisis proximal al biopolímero comestible obtenido**

Repetición	Humedad (%)		Grasa (%)		Ceniza (%)		Proteína (%)		Actividad de agua (a _w)
1	m	0,5299	m	4,8555	c	45,5676	%N	1,2	0,67
	mh	6,6305	v	100,5161	ci	46,5685	%P	7,8	
	ms	5,5342	vg	100,7379	cf	45,5845			
	%H	17,97	%G	4,57	%C	1,69			
2	m	0,515	m	4,5022	c	39,4606	%N	1,24	0,7
	mh	6,6159	v	95,5517	ci	40,4607	%P	8,06	
	ms	5,3966	vg	95,8107	cf	39,4788			
	%H	19,99	%G	5,75	%C	1,82			
3	m	0,5659	m	4,5031	c	40,9374	%N	1,23	0,7
	mh	6,6663	v	100,3367	ci	41,9377	%P	8	
	ms	5,4696	vg	100,592	cf	40,9562			
	%H	19,62	%G	5,67	%C	1,88			

Continuación del apéndice 13.

4	m	0,4649	m	4,9568	c	40,519	%N	1,26	0,67
	mh	6,5656	v	74,4851	ci	41,5199			
	ms	5,4093	vg	74,7501	cf	40,5365	%P	8,19	
	%H	18,95	%G	5,35	%C	1,75			
5	m	0,4579	m	4,519	c	40,9406	%N	1,25	0,67
	mh	6,5585	v	75,6533	ci	41,9413			
	ms	5,4124	vg	75,9203	cf	40,9582	%P	8,13	
	%H	18,79	%G	5,91	%C	1,76			
Media		19,06	5,45		1,78		8,03		0,68
Desviación Esandar		0,78	0,53		0,07		0,15		0,02
Varianza		0,61	0,28		0,01		0,02		0,0003

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Análisis microbiológico al biopolímero comestible**

Repetición	No. de colonias contadas	Enterobacterias (UFC/g)
1	0	<10
2	0	<10
3	0	<10
4	0	<10
5	0	<10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. Evaluación sensorial al biopolímero comestible

EVALUACIÓN SENSORIAL					
Instrucciones: Evalúe la muestra presentada, calificando de 1 a 5. El valor 1 representa desagradable y 5 muy agradable.					
Fecha: 26/02/2021					
	Atributo a evaluar				
Muestra	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
26/02/2021	4	5	5	4	3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Evaluación de degradación al biopolímero comestible
expuesto al medio ambiente**

Repetición	Medio ambiente			
	Tiempo (días)	Peso del contenedor vacío (g)	Peso del contenedor con la muestra (g)	Masa del biopolímero (g)
1	0	31	93	62
	5		92	61
	10		91	60
	15		89	58
	20		88	57
	25		87	56
	30		87	56
2	0	31	93	62
	5		92	61
	10		89	58
	15		89	58
	20		87	56
	25		87	56
	30		86	55
3	0	31	93	62
	5		92	61
	10		91	60
	15		89	58
	20		89	58
	25		87	56
	30		87	56
Media				58,43
Desviación estándar				2,38
Varianza				5,66

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Evaluación de degradación al biopolímero comestible
expuesto en medio acuoso**

Repetición	Medio Acuoso				
	Tiempo (días)	Peso del contenedor vacío (g)	Peso del contenedor con agua (g)	Peso del contenedor con la muestra (g)	Masa del biopolímero (g)
1	0	31	677	739	62
	5			735	58
	10			730	53
	15			727	50
	20			725	48
	25			716	39
	30			710	33
2	0	31	677	739	62
	5			736	59
	10			734	57
	15			725	48
	20			720	43
	25			714	37
	30			709	32
3	0	31	677	739	62
	5			733	56
	10			728	51
	15			723	46
	20			719	42
	25			712	35
	30			708	31
Media					47,81
Desviación estándar					10,48
Varianza					109,86

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Porcentaje de masa perdida para la evaluación de degradación al biopolímero comestible expuesto al medio ambiente**

Repetición	Masa inicial (g)	Masa inicial - Masa final (g)	Porcentaje de masa perdida (%)
1	62	0	0,00
		1	1,61
		2	3,23
		4	6,45
		5	8,06
		6	9,68
		6	9,68
2	62	0	0,00
		1	1,61
		4	6,45
		4	6,45
		6	9,68
		6	9,68
		7	11,29
3	62	0	0,00
		1	1,61
		2	3,23
		4	6,45
		4	6,45
		6	9,68
		6	9,68
Media			5,76
Desviación estándar			3,84
Varianza			1,72

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Porcentaje de masa perdida para la evaluación de degradación al biopolímero comestible expuesto en medio acuoso**

Repetición	Masa inicial (g)	Masa inicial - Masa final (g)	Porcentaje de masa perdida (%)
1	62	0	0,00
		4	6,45
		9	14,52
		12	19,35
		14	22,58
		23	37,10
		29	46,77
2	62	0	0,00
		3	4,84
		5	8,06
		14	22,58
		19	30,65
		25	40,32
		30	48,39
3	62	0	0,00
		6	9,68
		11	17,74
		16	25,81
		20	32,26
		27	43,55
		31	50,00
Media			22,89
Desviación estándar			16,91
Varianza			285,80

Fuente: elaboración propia.

Análisis estadístico:

Apéndice 20. Análisis de varianza para las distintas proporciones de harina cruda de maíz, goma xantana, butilhidroxitolueno (BHT), glicerina y agua purificada, para la formulación del biopolímero en forma de plato desechable

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	11672,7791	4	2918,19477	101587,23	9,17E-43	2,8660814
Dentro de los grupos	0,57452	20	0,028726			
Total	11673,3536	24				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. Análisis de varianza para la evaluación de degradación del biopolímero comestible obtenido expuesto al medio ambiente

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	107,809524	6	17,968254	47,1666667	1,71E-08	2,847726
Dentro de los grupos	5,33333333	14	0,38095238			
Total	113,142857	20				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Análisis de varianza para la evaluación de degradación del biopolímero comestible obtenido expuesto al medio ambiente**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2 135,238	6	355,873	80,35842	4,88E-10	2,847726
Dentro de los grupos	62	14	4,428571			
Total	2 197,238	20				

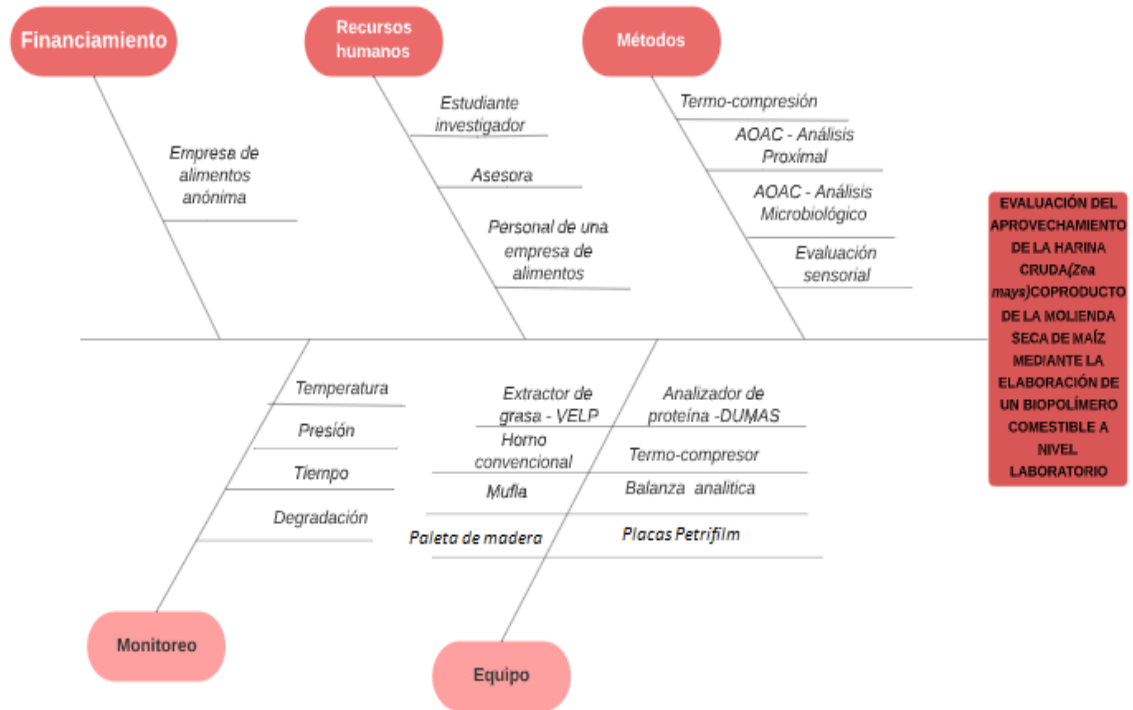
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Tabla de requisitos académicos**

Carrea	Área	Curso	Tema
INGENIERÍA QUÍMICA	Química	Química 4	Concentración
		Análisis cualitativo	Caracterización de propiedades
		Análisis cuantitativos	Comportamientos de las propiedades
		Química Orgánica 1	Caracterización de la materia
		Bioquímica	Polímeros
	Fisicoquímica	Fisicoquímica 1	Caracterización fisicoquímica
		Fisicoquímica 2	Caracterización fisicoquímica
			Fenómenos de transporte: Viscosidad
	Operaciones unitarias	Balace de masa y energía	Balace de masa
		Transferencia de calor	Transferencia de calor
	Técnica complementaria	Tecnología de los alimentos	Métodos alimenticios
		Bioingeniería	Biotecnología
	Ciencias	Ciencia de los materiales	Propiedades mecánicas
		Estadística 1	Estadística descriptiva
	De especialización	Procesos químicos industriales	Análisis de los procesos

Fuente: elaboración propia.


Apéndice 24. Diagrama de Ishikawa




Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

ANEXO

Anexo 1. Resultado de análisis de fibra neutrodetergente



FORMULARIO BROMATO 7 INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



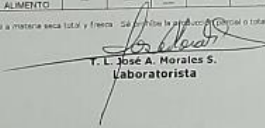
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala
Teléfax: 24188307 - Teléfono: 24188300 ext. 84119
E-mail: bromato2000@yahoo.es


Solicitado por: _____ Dirección: CIUDAD, GUATEMALA. No. 042
Fecha de recibida la muestra: 12-02-2021. Fecha de realización: DEL 15 AL 19-02-2021.


Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. En KOH %	E.M. Mcal/Kg	E.N. Mcal/Kg	E.D. Mcal/Kg
31	MUESTRA H.C.	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41.18	—	—	—	—
32	MUESTRA 1	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43.59	—	—	—	—
33	MUESTRA 2	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	45.14	—	—	—	—
34	MUESTRA 3	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44.26	—	—	—	—
TOTAL DE RESULTADOS REPORTADOS EN ESTA HOJA 4																		

OBSERVACIONES:
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresco. Se anexa la producción original o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 241 94107.




T. L. José A. Morales S.
Laboratorista






Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Continuación del anexo I.



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

FORMULARIO BROMATO 7 INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



BROMATOLOGÍA
SERVICIOS DE ANÁLISIS PARA ANIMALES

Edificio M6, 2º Nivel, Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307 Teléfono ext. 84119
E-mail: bromato2000@yahoo.es

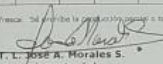
Solicitado por: _____ Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA.** No. **043**

Fecha de recibo de la muestra: **12-02-2021.** Fecha de realización: **DEL 15 AL 19-02-2021.**


Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEÍNA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dio. En KOH %	E.M. Mcal/Kg	E.N. Mcal/Kg	E.D. Mcal/Kg
35	MUESTRA 4	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43.75	—	—	—	—
36	MUESTRA 5	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42.87	—	—	—	—
—	—	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	SECA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	COMO ALIMENTO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—


OBSERVACIONES:
Ciertos resultados fueron calculados en base a muestra seca total y fresca. Si requiere la producción completa total de este informe, por favor información comunicarse al teléfono 24188307.

TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA: 2



T. L. José A. Morales S.
Laboratorista





Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Fuente: Laboratorio de Bromatología, Universidad de San Carlos de Guatemala.