



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA
A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (*Zea Mays L*) PARA
EL EMBALAJE DE ALIMENTOS.**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: HEIDY MARIBEL ERAZO HIDALGO

DIRECTOR: LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Heidi Maribel Erazo Hidalgo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Heidy Maribel Erazo Hidalgo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos.

Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de septiembre 2021

Heidy Maribel Erazo Hidalgo

060531619-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **“FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (*Zea Mays L*) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS”**, realizado por la señorita **HEIDY MARIBEL ERAZO HIDALGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. César Arturo Puente Guijarro

CESAR
ARTURO
PUENTE
GUIJARRO

Firmado digitalmente por CESAR
ARTURO PUENTE GUIJARRO
DN: cn=CESAR ARTURO PUENTE
GUIJARRO, o=EC+SECURITY
DATA S.A., 1=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo: Soy el autor de este
documento.
Ubicación:
Fecha: 2021-09-17 08:03:05.00

2021-09-09

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos



Firmado electrónicamente por:
**LINDA MARIUXI
FLORES
FIALLOS**

2021-09-09

DIRECTOR/A DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Bqf. Cristina Nataly Villegas Freire

CRISTINA
NATALY
VILLEGAS
FREIRE

Firmado digitalmente por CRISTINA
NATALY VILLEGAS FREIRE
DN: cn=CRISTINA NATALY VILLEGAS
FREIRE, o=EC+SECURITY DATA S.A.,
1=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo: Soy el autor de este documento.
Ubicación:
Fecha: 2021-09-20 09:32:05.00

2021-09-09

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación para Ingeniera Química es dedicado a los pilares fundamentales de mi vida, como no agradecer a Dios por ser mi sustento, mi castillo, mi roca y fortaleza, por darme tantas bendiciones, alegrías y triunfos, a mi madre Rocy por el esfuerzo y sacrificio que ha hecho por mí durante todos estos años, por enseñarme a no rendirme jamás, por ser la mujer que jamás me abandona. A mis hermanos mayores Franklin y Evelyn, a Franklin por ponerme un reto grande en mi vida al escoger esta carrera y a mi ejemplo de lucha mi hermanita Evelyn, por ser mi fuerza, la mejor amiga que nunca ha dejado que desmaye en varios intentos de cansancio, a mi abuelita Evangelina por ser un ángel en mi vida y desde luego al amor de mi vida Juan José por ser ese motor que me ha impulsado día a día a ser mejor, por darme las ganas de superación, por motivarme todos los días a cumplir este sueño y alcanzar muchas metas más en mi vida, a mi sobrina Heidy Camila por ser la alegría de mi corazón en momentos de angustia no puedo dejar de lado a mi angelito de cuatro patas por ser mi compañero fiel, Flavio. ... por amarme incondicionalmente gracias infinitas a todos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo incondicional de mi familia, el apoyo emocional y económico que me han brindado en este largo trayecto, a mi querida madre y hermana por ser mi mayor motivación para no rendirme y cumplir mis metas, pensé que este día no llegaría nunca, pero aquí estoy, escribiendo estas sinceras palabras.

Agradezco a mi compañero de vida Juan José por siempre tener la palabra adecuada de aliento y apoyo.

Agradezco a mis amigos por la amistad brindada y por el apoyo incondicional durante la realización de este sueño.

Agradezco a la Ingeniera Linda Flores Fiallos, por la paciencia, el apoyo, el carisma y la buena voluntad por siempre estar presta para realizar el presente trabajo de titulación.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
ÍNDICE DE GRÁFICOS	15
ÍNDICE DE ANEXOS.....	16
RESUMEN 17	
ABSTRACT ii	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I 2	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes de la investigación	2
1.2 Marco Teórico	5
1.2.1 Maíz Morado	5
1.2.2 Morfología de la planta y el futo del maíz morado (Zea Mays L)	5
1.2.3 Origen del maíz morado y zonas de cultivo.....	6
1.2.4 Producción de maíz morado (Zea Mays L).	7
1.2.5 Composición química del maíz morado (Zea Mays L)	8
1.2.6 Taxonomía	8
1.2.7 Almidón	9
1.2.8 Almidón de maíz y su estructura química	9
1.2.8-1 Amilosa.....	10
1.2.8-2 Amilopectina	11
1.2.9. Composición química del almidón	12
1.2.10. Funciones del almidón	13
1.2.11 Método de extracción de almidón	13
1.2.12 Molturación o molienda.....	15
1.2.13 Molienda seca	15
1.2.14 Biopelículas.....	15
1.2.15 Ventajas de los biopolímeros	16
1.2.16 Biopelículas de almidón	16
1.2.17 Aditivos de películas biodegradables	17
Conservantes	18
1.2.17-1 Sorbato de potasio	18
1.2.17-2 Ácido acético	18
1.2.17-3 Aceites esenciales	18
1.2.18 Plastificantes	18
1.2.18-1 Glicerol.....	19

1.2.18-2 Carboximetilcelulosa	19
1.2.19 Películas biodegradables y recubrimientos	20
1.2.20 Propiedades mecánicas de biopelículas elaboradas a base de almidón.	21
1.2.21. Resistencia Mecánica de Biopolímeros	21
1.2.21-1. Resistencia a la Tracción	21
1.2.22 Influencia de la Carboximetilcelulosa en la Resistencia Mecánica de Biopolímeros	22
1.2.23 Propiedades de barrera de biopelículas elaboradas a base de almidón	22
1.2.23.1 Barrera al oxígeno	22
1.2.23.2 Barrera a la humedad	23
2. MARCO METODOLÓGICO	24
2.1 Objetivos	24
2.1.1 General.....	24
2.1.2 Objetivos Específicos:	24
2.2 Hipótesis y especificación de variables.....	24
2.2.1 Hipótesis General	24
2.2.2 Hipótesis Específicas	24
2.2.3 Identificación de Variables	25
2.2.4 Operacionalización de variables	26
2.2.5 Matriz de consistencia.....	27
2.3 Tipo y diseño de investigación	30
2.3.1 Tipo de investigación.....	30
2.3.2 Diseño experimental de la investigación	31
2.3.3 Descripción de los equipos materiales, reactivos y materia prima	34
2.3.4 Pruebas Experimentales	35
2.4 Unidad de Análisis.....	35
2.5 Población de Estudio	35
2.6 Tamaño de Muestra	36
2.7 Selección de la Muestra.....	36
2.8 Técnicas de recolección de datos	36
2.8.1 Técnica de Extracción.....	36
2.8.2 Prueba de densidad	38
2.8.3 Prueba de pH.....	39
.....	40
2.8.4 Prueba de temperatura de gelatinización	40
2.8.5 Prueba de viscosidad.....	41
2.8.6 Prueba de índice de solubilidad.....	42
2.8.7 Prueba de Ceniza, humedad, proteína, fibra.	42
2.8.8 Prueba de determinación de ceniza: método de incineración en mufla.	43

2.8.9 Método de desecación en estufa de aire caliente	44
2.8.10 Prueba de contenido de fibra cruda.....	46
2.8.11 Prueba de determinación de contenido de proteína cruda.....	47
2.8.12 Prueba de determinación de grasa cruda (bruta) o extracto etereo	49
2.8.13 Técnica y fundamento para realizar el análisis de las biopelículas.	50
2.8.14 Síntesis de resultados, metodologías y herramientas para la formulación y selección del recubrimiento/ biopelícula comestible.	52
CAPÍTULO III.....	54
3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
3.1 Resultados	54
3.2 Fase de Laboratorio	54
3.2.1 Extracción de almidón de maíz morado (Zea Mays L), para su posterior caracterización	54
3.2.3 Ensayos Físicoquímicos para el almidón de maíz morado (Zea Mays L)	56
3.2.3-1 Cálculos para determinar el contenido de materia seca	56
3.2.3-2 Cálculos para determinar el contenido de humedad del almidón de maíz morado.....	58
3.2.4 Cálculos para determinar el índice de absorción de agua (IAA)	59
3.2.5 Cálculos para determinar la densidad aparente	60
3.2.6 Determinación del pH del almidón de maíz morado (Zea Mays L)	62
3.2.7 Determinación de la temperatura de gelatinización del almidón de maíz morado (Zea Mays L)	62
3.2.8 Rendimiento de la extracción de almidón de maíz morado (Zea Mays L)	64
3.2.9 Elaboración del bioplástico a partir de las formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2²	66
3.2.10 Formulaciones	67
3.3 Caracterización del bioplástico, determinación de parámetros físicos: espesor, humedad, permeabilidad, solubilidad, biodegradabilidad y parámetros mecánicos: ensayo de resistencia a la tracción	67
3.3.1 Análisis de Humedad de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado (Zea Mays L)	67
3.3.1-1 Cálculos para determinar el contenido de humedad en la biopelícula	68
3.3.2. Prueba de solubilidad de la biopelícula	70
3.3.2-1 Cálculos para determinar la solubilidad de las biopelículas.....	72
3.3.3 Evaluación de pH de los bioplásticos a base de maíz morado (Zea Mays L)	74
3.3.4. Prueba de permeabilidad al vapor de agua	75
3.3.4-1 Cálculos para determinar la permeabilidad de las biopelículas.....	78
3.3.5 Resistencia al agua de las biopelículas de almidón de maíz morado	81
3.3.6 Análisis mecánico	82
3.3.7. Ensayos de propiedades mecánicas	83
3.3.7-1 Tracción.....	83

3.3.8. Evaluación de Biodegradabilidad	86
<i>3.3.8-1 Biodegradabilidad en tierra (compost)</i>	87
<i>3.3.8-2. Biodegradabilidad en aire (temperatura ambiente).</i>	90
<i>3.3.8-3. Biodegradabilidad en el agua.</i>	93
3.3.9 Evaluación análisis bacteriológico.	97
3.3.11. Evaluación de las formulaciones como biopelícula	98
3.3.12 Resultados de la aplicación de la biopelícula en el producto.	100
3.4 Prueba de Hipótesis	101
CONCLUSIONES:	104
RECOMENDACIONES:	106
Bibliografía	107
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Botánica sistema (Maíz morado).....	9
Tabla 2-1:	Contenido de almidón y proteína en variedades de maíz.....	10
Tabla 3-1:	Composición química de diferentes almidones.	13
Tabla 4-1:	Métodos de extracción del almidón.....	14
Tabla 5-1:	Permeabilidad al vapor del agua de biopelículas elaboradas a base de almidón. .	23
Tabla 6-1:	Diferencias entre bioplásticos y plásticos convencionales.....	23
Tabla 1-2:	Identificación de variables que intervienen en el proceso de formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado.	25
Tabla 2-2:	Operacionalización de las variables que intervienen en la elaboración de una biopelícula	26
Tabla 3-2:	Matriz de consistencia de formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L</i>).	27
Tabla 4-2:	Materiales equipos y reactivos utilizados en la parte experimental	34
Tabla 5-2:	Método de la determinación de densidad	38
Tabla 6-2:	Método de determinación del pH	39
Tabla 7-2:	Método de determinación de la temperatura de gelatinización	40
Tabla 8-2:	Método de determinación de la viscosidad.....	41
Tabla 9-2:	Método de determinación del índice de solubilidad	42
Tabla 10-2:	Método de determinación de determinación de ceniza	43
Tabla 11-2:	Método de determinación de determinación de humedad.....	45
Tabla 12-2:	Método de determinación del contenido de fibra cruda.	46
Tabla 13-2:	Método de determinación de contenido de proteína	48
Tabla 14-2:	Determinación de grasa cruda (bruta) o extracto etereo	49
Tabla 15-2:	Análisis físico y mecánicos	50
Tabla 16-2:	Metodologías y herramientas para la formulación y selección del recubrimiento/ biopelícula comestible.....	52
Tabla 1-3:	Composición proximal del almidón morado	54
Tabla 2-3:	Porcentaje de amilosa y amilopectina.....	55
Tabla 3-3:	Pesos para determinación de contenido de materia seca.....	56
Tabla 4-3:	Pesos de crisoles con la muestra de almidón seco	56
Tabla 5-3:	Pesos de crisoles con la muestra de almidón seco	56
Tabla 6-3:	Porcentaje de materia seca de los ensayos 1-3 de almidón de maíz morado.....	58
Tabla 7-3:	Contenido de humedad de los ensayos 1-3 de almidón de maíz morado.	58

Tabla 8-3:	Datos para calcular el índice de adsorción de agua (IAA).....	59
Tabla 9-3:	Datos calculados de (IAA) y (ISA)	60
Tabla 10-3:	Datos para determinar la densidad aparente para el almidón de maíz morado.....	60
Tabla 11-3:	Datos para determinar la viscosidad para el almidón de maíz morado	61
Tabla 12-3:	Datos para determinar el pH para el almidón de maíz morado	62
Tabla 13-3:	Datos para determinar la temperatura de gelatinización del almidón de maíz morado	62
Tabla 14-3:	Rendimiento de tratamientos formulación de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L.</i>)	64
Tabla 15-3:	Análisis de varianza de los tratamientos obtenidos de la extracción de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L.</i>).....	65
Tabla 16-3:	Variables para la producción de biopelículas.	66
Tabla 17-3:	Esquema de la producción de biopolímeros.	66
Tabla 18-3:	Formulaciones planteadas en base al diseño factorial 22	67
Tabla 19-3:	Esquema del diseño experimental para la biopelícula	67
Tabla 20-3:	Análisis de humedad de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado (<i>Zea Mays L.</i>)	69
Tabla 21-3:	Datos del análisis de solubilidad de la biopelícula de almidón de maíz morado..	71
Tabla 22-3:	Media de porcentaje de solubilidad de la biopelícula de almidón de maíz morado.	73
Tabla 23-3:	Datos de pH para los tratamientos de bioplástico	74
Tabla 24-3:	Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 1)	76
Tabla 25-3:	Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 2)	77
Tabla 26-3:	Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 3)	77
Tabla 27-3:	Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 4)	78
Tabla 28-3:	Resultados del análisis de permeabilidad al vapor de agua	80
Tabla 29-3:	Análisis resistencia al agua de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado (<i>Zea Mays L.</i>)	81
Tabla 30-3:	Análisis de Espesor (milímetros) de las biopelículas de almidón de maíz morado	82
Tabla 31-3:	Análisis de ensayos de tracción de la biopelícula de almidón de maíz morado tratamiento 1 y 2.	84
Tabla 32-3:	Análisis de ensayos de tracción de la biopelícula de almidón de maíz morado tratamiento 3 y 4.	85
Tabla 33-3:	Resultados de la apariencia de las láminas durante 4 semanas en compost	87
Tabla 34-3:	Análisis de biodegradabilidad tratamientos: 1-4 (suelo).....	88
Tabla 35-3:	Resultados de la apariencia de las láminas durante 4 semanas en aire	90
Tabla 36-3:	Análisis de biodegradabilidad tratamientos: 1-4 (aire)	91
Tabla 37-3:	Resultados de la apariencia de las láminas durante 4 semanas en agua.	93

Tabla 38-3: Análisis de biodegradabilidad tratamientos: 1-4 (agua).....	94
Tabla 39-3: Examen bacteriológico del almidón de maíz morado.....	97
Tabla 40-3: Tratamientos obtenidos después de 72 horas.....	99
Tabla 41-3: Análisis sensorial de la frutilla envuelta en la biopelícula a partir de almidón de maíz morado.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Fotografía 1-1. Maíz morado (<i>Zea Mays L</i>)	5
Figura 2-1. Estructura de las antocianinas en Frutos y Vegetales.....	8
Figura 3-1. Estructura química de la amilosa	10
Figura 4-1. Cadenas de amilosa formando hélices	11
Figura 5-1. Estructura química de la amilopectina.....	12
Figura 6-1. Estructura ramificada de la amilopectina.....	12
Figura 7-1. Esquema general del proceso de extracción de almidón	15
Fotografía 8-1. Aplicación de biopelículas de almidón	17
Figura 9-1. Estructura Química de Carboximetilcelulosa.....	20
Figura 10-1. Mordazas y probeta tipo halterio para ensayos de tracción.....	22
Figura 1-2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de maíz (<i>Zea Mays L</i>).32	
Figura 2-2. Diagrama de flujo de caracterización del almidón	33
Figura 3-2. Selección de la muestra de maíz morado.....	36
Figura 4-2. Extracción de almidón de maíz morad (<i>Zea Mays L</i>)	37
Fotografía 5-2. Licuado materia prima	38
Fotografía 6-2. Prueba de densidad.....	39
Fotografía 7-2. Prueba de densidad.....	40
Fotografía 8-2. Prueba de densidad.....	40
Fotografía 9-2. Prueba de densidad.....	41
Figura 10-2. Procedimiento prueba de ceniza, humedad, proteína y fibra	42
Fotografía 11-2. Prueba de solubilidad	67
Fotografía 12-2. Tratamientos posteriores a la estufa	68
Fotografía 13-2. Prueba de solubilidad	70
Fotografía 14-2. Agitación de muestras	71
Fotografía 15-2. Secado de muestra.....	71
Fotografía 16-2. Prueba de permeabilidad	75
Fotografía 17-2. Pesado de los ensayos de prueba	76
Fotografía 18-2. Pesado de los ensayos de prueba	82
Fotografía 19-2. Prueba de Tracción.....	84
Fotografía 20-2. Probetas.....	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Gráfico de valores de % de solubilidad en agua para cada tratamiento.	73
Gráfico 2-2. Módulo de elasticidad T1, T2, T3 y T4	86
Gráfico 3-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T1	88
Gráfico 4-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T2.	89
Gráfico 5-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T3.	89
Gráfico 6-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T4.	90
Gráfico 7-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T1.	92
Gráfico 8-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T2.	92
Gráfico 9-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T3.	92
Gráfico 10-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T4.	93
Gráfico 11-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T1.	95
Gráfico 12-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T2.	95
Gráfico 13-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T3.	96
Gráfico 14-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T4.	96

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Extracción del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)
- ANEXO B:** Caracterización del almidón extraído.
- ANEXO C:** Elaboración de láminas de bioplástico.
- ANEXO D:** Caracterización del bioplástico elaborado.
- ANEXO E:** Análisis sensorial de la fruta envuelta con la biopelícula de maíz morado.
- ANEXO F:** Informe de resultados del ensayo de tracción T1
- ANEXO G:** Informe de resultados del ensayo de tracción T2
- ANEXO H:** Informe de resultados del ensayo de tracción T3
- ANEXO I:** Informe de resultados del ensayo de tracción T4
- ANEXO J:** Informe contenido de amilosa y amilopectina, maíz morado (*Zea Mays L*).
- ANEXO K:** Análisis microbiológico del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*).

RESUMEN

El presente proyecto investigativo tuvo por finalidad la elaboración de bioplástico a base de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), el cual fue extraído de la mazorca. Se buscó determinar, evaluar y verificar la biodegradabilidad del bioplástico elaborado. La investigación estuvo compuesta de tres etapas, la primera fue la extracción del almidón, en esta etapa se evaluó el rendimiento de los tratamientos, en base a dos factores: el tiempo y las revoluciones por minuto, donde se obtuvo que el mayor rendimiento fue de 72.671% para una RPM (revoluciones por minuto) baja y un tiempo de 60 segundos, fue el tratamiento aplicado en la elaboración del bioplástico; sin embargo entre los cuatro tratamientos obtenidos al aplicar el análisis de varianza ANOVA. Se demostró que no hubo diferencia significativa entre un tratamiento y otro lo cual indica que todos los tratamientos son viables a escala industrial, por su mínimo costo de producción. El almidón presentó una relación de 26.09/73.91 de amilosa/ amilopectina. La segunda etapa, se basó en la elaboración del bioplástico mediante la mezcla y combinación del almidón, agua, glicerol, ácido acético, carboximetilcelulosa (CMC). La elaboración del bioplástico tomó como variables la cantidad de almidón y del CMC, siendo el más resistente el tratamiento 4 elaborado con 0.5 ml de glicerina, 7 ml de ácido acético, 40 mL de agua, 2 g de almidón, y 1 ml de CMC, éste alcanzó un esfuerzo máximo de 3.48 MPa y 56.47 % de elongación, un espesor de 0.191 mm, valor establecido que debe cumplir una biopelícula. Finalmente, la tercera etapa consistió en el ensayo de biodegradabilidad, utilizando agua, compost y aire como medios de degradación, los resultados indicaron un 99.976, 94.01, 93.73% respectivamente. Determinando así la fiabilidad del almidón de maíz morado para la elaboración de biopelículas enfocadas en el área de embalaje de alimentos.

Palabras Clave: <ALMIDÓN>, <MAÍZ MORADO (*Zea Mays L*)>, <EXTRACCIÓN>, <FORMULACIÓN>, <BIOPLÁSTICO>.

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(EN): c=EC, o=IDIBARRA,
ou=IDIBARRA, cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.04.29 16:15:32
-0500



1082-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this study was to make bioplastic using purple corn starch (*Zea Mays L*), which was extracted from corn. This study wanted to determine, evaluate, and verify the biodegradability of the produced bioplastic. The research had three stages, the first was the extraction of starch. In this stage, the performance of the treatments was evaluated, based on two factors time and revolutions per minute. The best performance to produce bioplastic was 72.671% for a low RPM (revolutions per minute) and a time of 60 seconds. However, among the four treatments obtained by applying the ANOVA analysis of variance, it was shown that there was no significant difference between one treatment and another, which indicates that all treatments are viable on an industrial scale, due to their minimum production cost. Starch presented a ratio of 26.09 / 73.91 of amylose/amylopectin. The second stage was based on the production of bioplastic by mixing and combining starch, water, glycerol, acetic acid, carboxymethylcellulose (CMC). The production of the bioplastic took as variables the amount of starch and CMC, being the most resistant treatment four made with 0.5 ml of glycerine, 7 ml of acetic acid, 40 mL of water, 2 g of starch, and 1 ml of CMC, it reached maximum stress of 3.48 MPa and 56.47% elongation, a thickness of 0.191 mm, which is an established value that a biofilm must meet. Finally, the third stage consisted of the biodegradability test, using water, compost and air as degradation means, the results indicated 99.976, 94.01, 93.73% respectively. Determining in this way the reliability of purple corn starch to produce biofilms focused on the food packaging area.

Keywords: <STARCH>, <PURPLE CORN (*Zea Mays L*)>, <EXTRATION>, <FORMULATION>, <BIOPLASTIC>.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación “Formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) para el embalaje de alimentos”, está enfocado en la formulación de almidón (polímero) utilizando como materia prima el maíz morado, mismo que mediante un proceso de extracción por método seco, decantación, secado y tamizando será procesado y analizado como próxima materia prima en las formulaciones para originar láminas de biopelículas.

Almidón que juntamente con la adición de conservantes y aditivos, permite obtener formulaciones óptimas o descartables para la envoltura de alimentos, cuyo enfoque principal es otorgar características que permitan conservar frescos a los alimentos recubiertos, mejorar la vida útil de los mismos reduciendo su perecibilidad en el mercado. Motivo por el cual se ha incursionado en la efectividad de las biopelículas como materiales conservantes de alimentos.

Por otra parte, en la actualidad, existen diversas investigaciones, científicas y tecnológicas que promueven el cambio de malos hábitos y costumbres con el uso excesivo de plásticos. En Ecuador se producen alrededor de 939.000 toneladas al año de desperdicios plásticos, lo que impulsa emergentemente a buscar una solución amigable no tóxica con el medio ambiente y a su vez que conserve las propiedades organolépticas de los alimentos.

Acerca de este último punto; las investigaciones sobre plásticos biodegradables se han enfocado a la introducción de nuevos compuestos que otorguen nuevas y mejores propiedades y que además no sean perjudiciales con el medio ambiente, con la finalidad de generar formulaciones capaces de crear bioplástico cada vez más parecido al sintético proveniente del petróleo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la investigación

En la actualidad la sustitución de polímeros sintéticos, que hasta el día de hoy son utilizados como material de empaque, es un tema de interés mundial que va en aumento. Los empaques provenientes de materiales sintéticos garantizan una protección adecuada como inhibición de humedad, dióxido de carbono, oxígeno, aroma, para cualquier tipo de alimento, pero este tipo de material presenta el inconveniente de no tener un reciclado simple por tanto tampoco presenta una degradación rápida. Estos materiales han sido los responsables de la gran acumulación de residuos contaminantes en el medio ambiente.

Ecuador ha obtenido un creciente desarrollo en la industria del plástico, aportando medios para el hogar, agricultura y productos suplementarios para otras industrias, siendo el polivinil cloruro (PVC) la materia prima por excelencia, (Moreno, 2015).

El Ministerio de Ambiente (MAE) realiza investigaciones sobre los residuos contaminantes, entre el año 2015 y 2017 en las cuatro regiones del Ecuador, indicando que estas son alarmantes; botellas plásticas, colillas de cigarrillo, tarrinas de comida y tapas de tarrinas lideran en la región Costera seguido de la Sierra, (Noroña, 2018).

No obstante, con el descubrimiento de nuevas tecnologías y formulaciones, la formulación de biopelículas a base de almidón se considera hoy en día como una alternativa viable y sustentable para la disminución de residuos contaminantes, con ventajas como: la facilidad en la adquisición de la materia prima, los bajos costos de esta, el alto contenido de amilosa y amilopectina, característica fundamental de una biopelícula; ventajas que hacen de este aprovechamiento, una alternativa propicia.

El objetivo principal de las biopelículas es reducir el consumo excesivo de plásticos derivados del petróleo, los cuales presentan un período de degradación muy largo y propician la contaminación debido a la falta de cultura de reciclaje de materiales de esta especie. El almidón constituye una fuente principal para la elaboración de biopelículas, esto indica que los tubérculos, frutas, semillas, cereales, entre otros, son la materia prima para la formulación del almidón, los principales almidones de los que se tiene referencia experimental e investigativa son los de la papa, maíz, trigo, arroz, yuca, entre otros. (Bressani, et al., 2001).

Agregando a lo anterior se ha comprobado que el uso de almidón de maíz para la elaboración de materiales biodegradables es una técnica viable debido a que les otorga brillo y transparencia, así como por su abundancia y casi nula explotación en la sociedad. Las biopelículas han sido

elaboradas a partir de polisacáridos como la celulosa, almidón, carbohidratos y sus derivados de proteínas como la gelatina, zeína, gluten o de lípidos, capaces de producir matrices continuas las cuales poseen buenas propiedades mecánicas y ópticas. (Buensuceso, 2010), las empresas líderes se encuentran en Estados Unidos, Canadá, Japón, la innovación intenta cubrir una amplia serie de aplicaciones: vajilla y utensilios descartables, botellas, bolsas de supermercados, bolsas para snacks y films, así de esta manera apoyar a la tierra ya que reducen su huella de carbono y se reduce el uso de recursos fósiles y son 100% biodegradables, convirtiéndose en abono vegetal, (Argenbio, 2015).

Un estudio realizado en la Universidad Nacional de Chimborazo obtuvo y caracterizó funcionalmente el almidón de maíz morado (*Zea mays L.*) Dando respuesta a la necesidad de conocer a profundidad las características tanto fisicoquímicas de la harina y almidón de maíz negro, donde se obtuvo cantidades significativas para la harina en los análisis de calcio, fósforo, potasio. Para el análisis estadístico se aplicó el programa R-Rstudio 1.2.509, SPSS y hoja de cálculo excel 2013, en el cual se determinó el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación menor al 5%, valor de probabilidad e intervalos de confianza lo cual indica que los datos obtenidos en la investigación son aceptables. (Castillo, 2015)

Por otro lado, en la Universidad del Salvador en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, se llevó a cabo el estudio de una formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de sorgo (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) y yuca (*Manihot esculenta*), donde se realizó el diseño de un recubrimiento comestible elaborado a base de almidón de yuca y almidón de sorgo con el objetivo de alargar la vida de anaquel de frutas frescas. Para la realización de esta investigación se llevó a cabo cuatro etapas experimentales; la extracción de los almidones, el diseño de experimentos, la caracterización de los recubrimientos y el análisis de los datos experimentales. Durante las extracciones de almidones se seleccionaron y caracterizaron las materias primas, yuca y sorgo, los gránulos obtenidos de cada almidón fueron caracterizados, se calculó el rendimiento de los procesos de extracción almidón de sorgo y de yuca. Para la realización del diseño experimental se realizaron pruebas preliminares, enfocadas en conocer los comportamientos y características de biopelículas y sus recubrimientos obtenidos al combinar diferentes porcentajes de almidón de sorgo con almidón de yuca, mediante estas pruebas se determinó el intervalo de valores de concentración de almidón de sorgo, almidón de yuca y glicerol más apropiados para ser aplicados como biopelículas en frutas frescas; a partir de estos valores y haciendo uso de un software especializado en diseño de experimentos se generaron diez formulaciones diferentes. Finalmente se realizó una prueba sensorial de aceptabilidad con el fin de identificar diferencias estadísticamente significativas entre fruta recubierta y no recubierta. (Arévalo Verónica, Enero, 2018). También (Salazar, y otros, 2019) realizaron una investigación acerca de la formulación de biopelículas de almidón utilizando maíz amiláceo y amarillo duro. Para el proceso y la formulación de almidón

se utilizó el método de centrifugación y secado a una temperatura de 35 °C por espacio de 18 horas, posteriormente para la formulación de las biopelículas se realizó con cuatro formulaciones del almidón de maíz amiláceo y amarillo duro con agua, glicerina, ácido acético y agar-agar. Las formulaciones se llevaron entre 85-90 °C por un tiempo de 30 minutos hasta la formación del gel, e inmediatamente se esparció sobre un molde de silicona y se dejó secar a 35 °C por 48 h.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de los almidones de maíz amarillo y amiláceo reportaron que la variedad amarillo duro presentó el mayor contenido en azúcares reductores, un pH de 6,33, densidad aparente de almidón suelto, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento, en caso de la humedad fue menor, mientras que el, acidez, densidad aparente de almidón suelto, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, temperatura de gelatinización fueron similar al almidón de maíz amiláceo. Las biopelículas obtenidas del mejor tratamiento con concentraciones de almidón 150 g, ácido acético 0,375 mL, glicerina 200 mL, agar - agar 18 g, con un tiempo de 30 min y agua 20 mL, presentó la mejor formación de las biopelículas debido a que fue elástica, resistente y estable. Concluyendo así que es posible obtener biopelículas a partir de almidón de maíz amiláceo, que presentarían características físicas similares a la de una bolsa biodegradable. (Salazar, y otros, 2019).

La presente investigación tiene la finalidad de impulsar la elaboración de plástico biodegradable a través del uso de maíz morado que hoy en día es poco sobrevalorado es por ello por lo que una biopelícula debe cumplir con las características que se requieren para ser un bioplástico óptimo al momento de recubrir o empaquetar un alimento, cumpliendo las expectativas y necesidades de los consumidores que se preocupan por cuidar el medio ambiente. Así mismo, generar el crecimiento de microempresas ecuatorianas que propongan un nuevo mercado de la fabricación de bioplásticos a partir de almidón y de esta manera fortalecer la matriz económica y productiva del país.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Maíz Morado

Fotografía 1-1. Maíz morado (*Zea Mays L*)

Realizado por: Erazo Heidy, 2021



El maíz morado es una planta oriunda de América, que tiene el epispermo de las semillas (granos) y la tusa (coronta) de color morado, lo que le otorga características especiales a los pigmentos que poseen (entre 1,5% y 6,0%), llamados antocianinas, que pertenecen al grupo de los flavonoides. Debido a su alto contenido de antocianinas (cianin-3-glucosa C3G que es su principal colorante) y compuestos fenólicos actúa como un poderoso antioxidante natural y anticancerígeno, teniendo además propiedades funcionales debido a estos compuestos bioactivos. (Guillén Jhoseline, 2014).

Se conoce un número significativo y representativo de variedades de maíz morado que se diferencian ya sea por la forma y tamaño de las mazorcas, o a su vez por el color del pericarpio de los granos. El color de la planta varía de verde amarillento a morado oscuro, pero lo que es invariable es la lígula de las hojas y de las anteras portando siempre color morado oscuro. (Condori, 2006).

1.2.2 Morfología de la planta y el futo del maíz morado (*Zea Mays L*)

- Raíz: Las raíces son fasciculadas cuya misión es aportar un perfecto anclaje y montaje a la planta. En ciertos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo además suele nacer en estas lo que se conoce como raíces secundarias.
- Tallo: el tallo consta de una caña sólida, vertical de altura variable que suele variar en un rango aproximado de 0,80 a 2,50 m, el grosor del tallo disminuye de abajo hacia arriba, con una sección casi circular hasta la panícula masculina que corona la planta.

- Hoja: Las hojas son largas, de gran tamaño, de forma lanceoladas, alternas, se localizan abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (Tocagni, 1982), presenta de 15 a 30 hojas verdaderas que nacen de cada nudo y de color verde intenso.
- Flores: La plana está formada por numerosas flores pequeñas llamadas espículas. La inflorescencia femenina es una estructura única llamada mazorca (Risco, 2001). El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, el eje central o coronta donde se insertan las flores cuya función es dar origen a los granos.
- Fruto y semilla: Es cariósipide, redondeado, morado situado en hileras a lo largo de toda la mazorca (Risco, 2001). La pared del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para conformar la pared del fruto. El fruto maduro consta de tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. Sus granos son de color morado característico y es nutricionalmente más rico que el maíz amarillo. (Burgos, y otros, 2015 pág. 8)
- La mazorca del maíz morado está constituida por los granos y el corazón de la mazorca o más conocido como tusa en el Ecuador, en una proporción promedio de 80 y 20 por ciento respectivamente. (Lavado, y otros, 2013) Según (Risco, 2001) las mazorcas tienen las siguientes características: 22 granos por hilera, 232 granos aproximadamente por mazorca, 38, 41 y 31 mm de diámetro en la base, medio y punta, 121 mm de longitud, 92 g de peso.

1.2.3 Origen del maíz morado y zonas de cultivo

El maíz morado es un tipo de maíz (*Zea Mays L*), de la familia de las gramíneas. Se caracteriza por tener un fruto múltiple denominado mazorca con un color bien exótico y llamativo, más aún presenta varios beneficios a la salud a causa del contenido de antocianinas (antioxidantes) que presentan sus granos.

Es más común verlo en regiones del Centro y Sur América principalmente en países como Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia, Argentina y en México.

En Ecuador es muy popular, específicamente en la serranía ecuatoriana ya que con éste se elabora la harina utilizada en la preparación de la colada morada, sin embargo, los pequeños y medianos agricultores han dejado de cultivar el maíz morado debido al bajo rendimiento y falta de semillas

certificadas, es decir la producción de semillas de este tipo de maíz, permitiría un incremento en la oferta de este y a su vez de sus derivados. (Borja, 2013)

Las principales zonas de cultivo del maíz morado (*Zea mays L*) descritas de manera general, se ubican principalmente en las provincias centrales del Ecuador como son: Tungurahua, Chimborazo y Bolívar; en la Provincia de Chimborazo, según (INIAP, 2017) en el año 2016 de las (68.314 ha) de maíz suave el 5% se encuentra cultivado con maíz morado (3.415 ha), es decir no es considerado un cultivo de maíz representativo en el Ecuador.

La cosecha de maíz morado (*Zea Mays L*) en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, se desarrolla en varias parroquias como: Cacha, comunidad San Antonio de Bashug, Parroquia Licto, comunidad Tzimbuto Quincahuan Real Corona, parroquia Licán, parroquia Calpi; los agricultores chimboracenses acostumbran a colocar el maíz morado (*Zea Mays L*) en los techados de las casas, colocan ahí el maíz para secarlo y luego convertirlo en harina, pues esta es la materia prima de la chicha morada. El maíz nativo estuvo cerca de desaparecer debido al poco valor que tenía en el mercado. Con la innovación de empresas como Sariy ubicada en la parroquia de Licto, cuya iniciativa fue crear una bebida inspirada en la chicha morada (bebida ancestral), rescatando así el maíz morado (*Zea Mays L*), se logró incentivar a la gente de las comunidades de la provincia de Chimborazo cantón Riobamba a revalorizar los productos nativos.

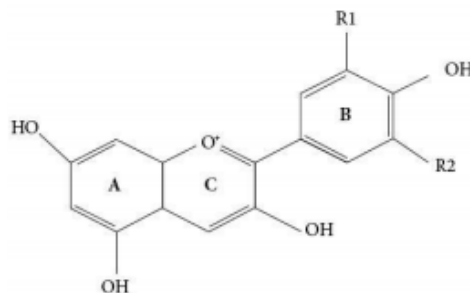
1.2.4 Producción de maíz morado (Zea Mays L).

La producción de maíz morado ha pasado a segundo plano, estadísticamente, este cultivo no es considerado como principal en los tipos de maíz cultivados en Ecuador; uno de los motivos por los que no existe interés de cultivar este tipo de maíz por parte de los agricultores están la poca demanda de este y la falta de producción de semillas certificadas. En la actualidad el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) es la única institución que produce semillas para cultivos de la Sierra ecuatoriana y ésta no dispone de semillas de maíz morado, lo cual significa que en la actualidad ninguna institución produce semilla certificada de maíz morado para su comercialización, Además, existe falta de información por parte de las instituciones encargadas sobre el costo de producción de semilla de este tipo de maíz, como resultado los productores no presentan interés por este cultivo. En contraste, el maíz morado presenta bajo rendimiento comparado con los tipos tradicionales (2500 kg/ha de maíz harinoso comparado con 2800 –3000 kg/ha de maíz morocho amarillo), esta es una de las razones por las cuales la producción de maíz morado en la actualidad no ha sido muy difundida, lo cual se ve reflejado en las cifras de producción nacional. (Caviedes, 2010).

1.2.5 Composición química del maíz morado (*Zea Mays L*)

El maíz morado (*Zea Mays L*), aporta cantidades importantes de almidón, cerca del 80%; un 10% de azúcares los cuales le confieren un sabor dulce, un 11% de proteínas, 2% de minerales y vitaminas (complejo B y ácido ascórbico) concentrados en el endospermo. Además del valor nutricional, el maíz morado tiene una composición rica en fitoquímicos, que tienen efectos benéficos en nuestro cuerpo, tales como neutralizar los radicales libres y actuar como antimutagénico. (Guillén Jhoseline, 2014). En la planta de maíz, las antocianinas están presentes en diferentes estructuras, como tallo, vaina, hojas e inflorescencias; en la mazorca se pueden encontrar en cáscara y grano. En el grano se ha reportado la presencia de antocianinas en mayor cantidad en la coronta y en menor proporción en el pericarpio o cáscara del grano.

Figura 2-1. Estructura de las antocianinas en Frutos y Vegetales
Fuente: (Pascual Teresa & Sánchez Ballesta, 2008).



Otra antocianina de suma importancia presente en el maíz morado es la cianidina 3-glucósido, la cual suprime el 7,12-dimethylbenzo antraceno. (Agropecuaria, 2014), el cual induce a la carcinogénesis mamaria, lo que indica que el color de maíz morado puede ser un agente quimioterapéutico prometedor (Fukamachi et. al, 2008). Se consideran interesantes estos pigmentos por dos razones. La primera, por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos; y la segunda, por su implicación en beneficio de la salud humana (Otiniano, 2012).

1.2.6 Taxonomía

Respecto a la ubicación taxonómica del maíz en general, la más aproximada y formulada ha sido reportada por Takhtajan (1980) y describe de la siguiente estructura:

Tabla 1-1: Botánica sistema (Maíz morado)

Botánica sistema (Maíz morado)	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Tribu	Andropogoneae
Género	Zea
Nombre científico	Zea Mays L.

Fuente: (Leiva, 2016)

Realizado por: Erazo, Heidy. 2020

1.2.7 Almidón

El almidón es un polímero cuya estructura molecular se basa en la unión de moléculas de glucosa que están unidas entre ellas mediante enlaces α -D-(1-4) y/o α -D-(1-6) que forman sus dos macromoléculas principales: la amilosa y la amilopectina. (Gómez, 2010) Además, el almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura, consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables. (Hernández, 2008)

El almidón natural tiene una baja resistencia al esfuerzo de corte, alta degradación, baja descomposición, para mejorar las propiedades mecánicas, se mezcla el almidón con otros polímeros como la polimetilcelulosa y el polietileno de baja densidad.

1.2.8 Almidón de maíz y su estructura química

El principal constituyente del maíz (*Zea mays L.*) es el almidón, las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están estrechamente relacionados con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina, estas moléculas se organizan en anillos concéntricos para originar la estructura granular.

Estos almidones se emplean como: agentes espesantes para incrementar la viscosidad de salsas, como agentes estabilizantes de geles o emulsificantes, elementos ligantes y agentes de relleno. (Arzalapo, H. Q., 2015)

Tabla 2-1: Contenido de almidón y proteína en variedades de maíz.

Raza	%Almidón	%Proteína
Blanco Blandito (INIAP-102)	73,10	8,30
Chaucho (INIAP-122)	74,63	9,14
Guagal	72,10	8,12
Chulpi (INIAP-192)	64,27	10,23
Canguil (INIAP-198)	62,88	10,72
Morado o racimo de uva	71,30	9,91
Morochón	73,57	8,84
Patillo	66,20	10,11

Fuente: Fuente: Dpto. de Nutrición y Calidad y Programa de Maíz de la EESC-INIAP

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

1.2.8-1 Amilosa

Es un polímero lineal con unidades de D-glucosa unidas por enlaces α (1-4), con grado de polimerización de 200 a 3000, dependiendo de la fuente de almidón; y soluble en agua a temperatura entre 70-80 grados centígrados. Tiene un promedio de 500 a 6000 unidades de D-glucosa, repartidas en un número de cadenas que van de 1 a 20. Las cadenas de amilosa se presentan como ejes helicoidales que forman cadenas casi lineales, a su vez la amilosa es la responsable del mayor peso molecular del almidón, que juntamente con la amilopectina pueden polimerarse para crear polímeros biodegradables.

Figura 3-1. Estructura química de la amilosa

FUENTE: (Buensuceso, 2010)

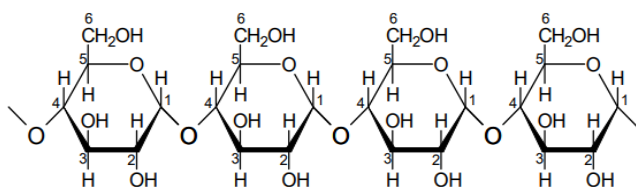
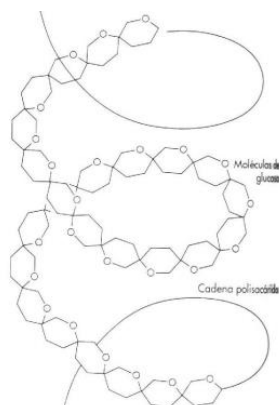


Figura 4-1. Cadenas de amilosa formando hélices
FUENTE: (Wolfe, 1996)



Las moléculas de amilosa en solución, debido a su linealidad, tienden a orientarse paralelamente, aproximándose lo suficiente, para que se formen puentes de hidrógeno, dando como resultado una reducción en la afinidad del polímero por el agua, favoreciendo la formación de pastas opacas y biopelículas resistentes. (Buensuceso, 2010)

Los almidones ricos en amilosa mantienen su forma cuando se moldea; es decir gelifican mientras los almidones sin amilosa espesan, pero no gelifican. Menciona (Rodríguez, E., 2008) que la amilosa puede formar una cuarta parte del gránulo de almidón.

1.2.8-2 Amilopectina

Es un polímero altamente ramificado, con unidades de D-glucosa unidas a través de enlaces $\alpha(1-4)$ y las ramificaciones en uniones $\alpha(1-6)$, cada 20 a 25 unidades de D-glucosa, constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes, es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta. (Rodríguez, E., 2008). Se presenta como ejes ramificados que forman cadenas casi lineales, la amilopectina es la responsable de la cristalización del almidón, que a su vez presenta dos formas: una amorfa y una cristalina las cuales al entrar en contacto con el agua fría son los responsables de la coloración blanquecina.

Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las moléculas de amilosa, el peso molecular de la amilosa está entre 0.1 y un millón de g/mol y el de la amilopectina está entre (10.000 a 1.000 millones) g/mol, es decir el peso molecular de la amilopectina es mucho más grande a comparación del peso de la amilosa, por lo cual el contenido de amilopectina es el indicador más relevante en la formación o la no formación de un bioplástico.

Figura 5-1. Estructura química de la amilopectina

FUENTE: (Buensuceso, 2010)

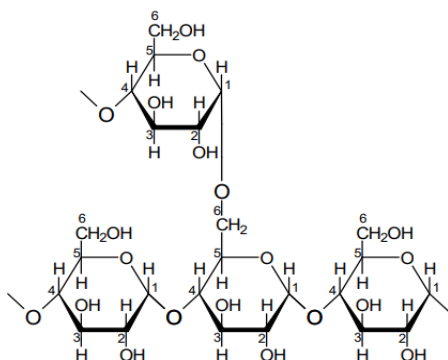


Figura 6-1. Estructura ramificada de la amilopectina

FUENTE: (Wolfe, 1996)



1.2.9. Composición química del almidón

Existe una variación en cuanto al porcentaje de humedad con valores que van desde 10 hasta 12 % en cereales, mientras que almidones provenientes de raíces y tubérculos la humedad varía entre 14 a 19 en porcentaje, también de que un mayor contenido de humedad afectará directamente la calidad del almidón por detrimento microbiano. La composición química de los almidones comerciales por lo general dependerá de la fuente botánica de la que el almidón proviene. En la tabla 3-2 se muestra la composición química de diversos almidones que permite enfocar la relación amilosa- amilopectina.

Tabla 3-1: Composición química de diferentes almidones.

Almidón	Humedad (%)	Proteína Cruda (%)	Grasa Cruda (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Arroz	-	0,45	0,80	-	0,50	7	93
Maíz	9,90	0,10	0,35	0,62	0,06	28,3	79
Maíz céreo	13,00	0,25	0,20	-	0,07	1-3	97-99
Malanga	8.99	0,16	0,19	0,35	0,12	23,6	76,4
Papa	19,00	0,06	0,05	-	0,40	21	71,7
Sorgo	13	0,30	0,70	-	0,08	25	75
Yuca	9,48	0,06	0,20	1,01	0,29	22,7	83

Fuente: González, 2012 (Desarrollo de Productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos)

Realizado por: Erazo, Heidy, 2020

1.2.10. Funciones del almidón

Como consecuencia a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional se utiliza como (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, más aún, se utiliza en la industria del papel para fortalecer el producto final, ya que el almidón apoya a la estructura de la fibra celulosa, dando al papel mayor calidad, en la aplicación en el ámbito de bioplásticos, debido a que mejora la tensión a la fractura y flexibilidad, se tiene películas más claras y disminuye la permeabilidad, (Medina et al., 2007).

1.2.11 Método de extracción de almidón

Para la realización del proyecto de investigación formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), para el embalaje de alimentos, primeramente se llevó a cabo una revisión bibliográfica para determinar cuál es la metodología viable para llevar a cabo el proceso de extracción de almidón, en donde según varias investigaciones los métodos más utilizados para la extracción de almidón son los métodos por vía húmeda y vía seca los cuales serán descritos a continuación.

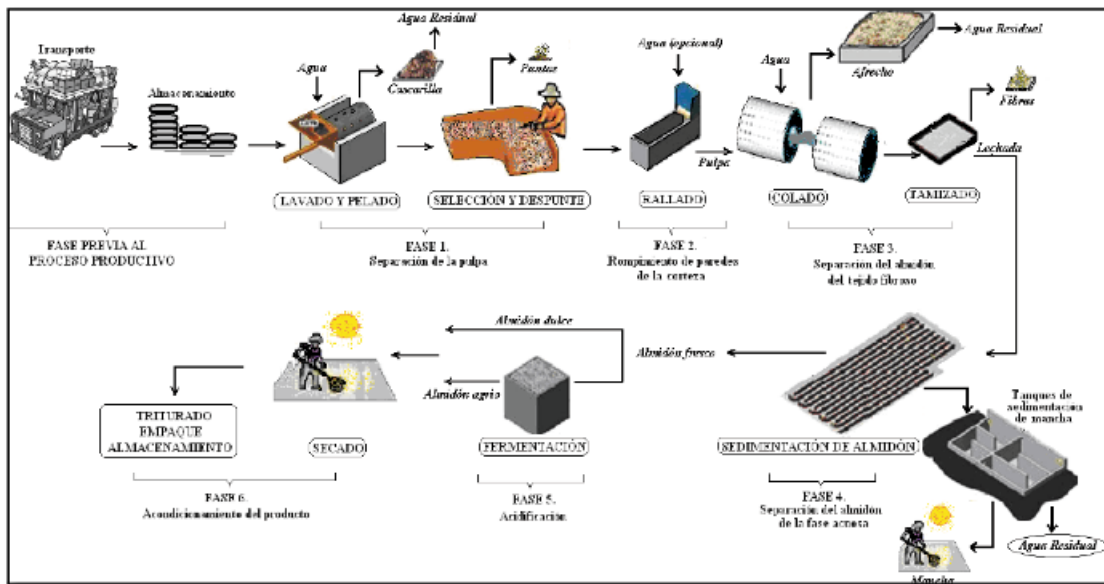
Tabla 4-1: Métodos de extracción del almidón

Método	Descripción
Extracción por vía seca	Consiste primero en la selección de la materia prima, seguido de un proceso de limpieza por medio del cual se eliminará la tierra y toda clase de impurezas que pudiesen estar adheridas a la materia prima, posteriormente se sujetará a un proceso de secado y por último será sometido a un proceso de molienda del fruto, obteniendo de este proceso una harina para su posterior tamizado y formulación del almidón.
Extracción por vía húmeda	Como primer punto se da la selección de la materia prima seguido de un proceso de lavado y pelado de la misma por medio de la cual se eliminará la tierra y toda clase de impurezas que pudiesen adherirse, seguido de esto se somete a un proceso de reducción de tamaño con un volumen determinado de agua, esto facilitará la liberación de los gránulos de almidón y separarlo de aquellos componentes de la pulpa que son más grandes como la fibra y proteína, seguido de esto se someterá a un proceso de filtración por medio del cual se separara el líquido que contiene el almidón del afrecho constituido por restos de la pulpa, posteriormente se somete al líquido obtenido a un proceso de sedimentación con la finalidad de separar el almidón por efecto de la gravedad, facilitando la eliminación de agua por decantación, por último se somete al almidón al proceso de secado con el fin de eliminar la humedad presente en el sólido húmedo para nuevamente someterse a un proceso de molienda , tamizado y finalmente ser empacado.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

En la figura 1-4 se muestra un esquema del proceso de extracción de almidón por vía seca siendo el método de extracción menos utilizado a nivel industrial en el que se puede observar cada una de las etapas y las operaciones unitarias que se llevan a cabo para la formulación del producto final comenzando desde la recepción de la materia prima, lavado, el triturado, la molienda, tamizado y por último el almacenamiento.

Figura 7-1. Esquema general del proceso de extracción de almidón
Fuente:(Flores et al, 2010, p.30)



1.2.12 Molturación o molienda

La molienda se realiza en los cereales, vegetales e incluso en otras materias primas, se conoce como la reducción de tamaño de partículas sólidas a partir de la aplicación de fuerzas mecánicas (compresión, impacto o cizallamiento), las cuales provocan la fracturación o quebramiento de las partículas. (Gutierrez, 2016)

1.2.13 Molienda seca

La molienda seca es un proceso de trituración donde las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión ya sea en seco o en suspensión en agua. Se realiza con la rotación de recipientes cilíndricos de acero que contienen una carga de cuerpos sueltos de trituración, el medio de molienda puede ser en barras de acero, bolas o la roca misma, logrando una harina libre de salvado con lo que se mejora la palatabilidad, digestibilidad y conservación durante el alimento, asegurando que el deterioro causado a los gránulos de almidón no exceda el óptimo. (Navas, L., 2017).

1.2.14 Biopelículas

El mal uso de plásticos durante décadas es una de las razones más grandes por las cuales existen movimientos ambientalistas que promueven evitar la contaminación, misma que

cada día incrementa con una rapidez impactante, es por ello que se buscan alternativas que sean aprovechadas y que den solución a la problemática. Estas ideas se basan en la formulación de bioplásticos a partir de materia orgánica, cuya característica principal es la de ser un polímero degradable a corto plazo. (Silva, 2016)

Este tipo de bioplásticos se subdivide en 3 grupos según su origen: (Tecnológico, 2007)

- **Polímeros de recursos naturales:** se los elabora directamente de la biomasa, como el almidón y celulosa, fundamentándose en un proceso de polimerización química convencional. (Tecnológico, 2007)
- **Polímeros biodegradables procedentes de petroquímica:** se los realiza por vía directa de poliésteres alifáticos y aromáticos; así como el polialcohol vinílico y poliéster-amida. (Tecnológico, 2007).
- **Bioplásticos por vía biotecnológica:** son aquellos que son analizados por medio de síntesis biotecnológica de monómeros. (Tecnológico, 2007).

1.2.15 Ventajas de los biopolímeros

Estos materiales presentan una serie de claras ventajas respecto a los plásticos tradicionales. La primera de ellas es que se evita la dependencia del petróleo como materia prima para su producción. La segunda ventaja que presentan es que son susceptibles de degradarse completamente en un lapso relativamente corto (en comparación con los plásticos típicos), y los subproductos obtenidos de su degradación son por lo general agua, dióxido de carbono y biomasa. Por último, estos biomateriales han abierto una puerta a la investigación médica, ya que muchos de los avances realizados en medicina han sido gracias al descubrimiento de algunos polímeros biodegradables, que son compatibles con el organismo humano y que, tras cumplir su función, desaparecen sin necesidad de intervenciones quirúrgicas. (Labeaga, Aitziber, Febrero 2018).

1.2.16 Biopelículas de almidón

El almidón es el principal autor de biopelículas con buenas propiedades mecánicas y los recubrimientos a base de almidón son barreras eficaces contra compuestos de baja polaridad.

Las biopelículas a base de almidón son descritas como inodoras, insípidas, incoloras y muestran muy poca permeabilidad al oxígeno a la humedad relativa baja (HR), adicional a esto exhiben una fuerza de tensión moderada.

La aplicación de almidón en la elaboración de biopelículas se basa en las propiedades químicas, físicas y funcionales de la amilosa para formar geles. Las biopelículas con base de almidón reducen el uso de recursos no renovables, y el impacto ambiental asociado con un incremento de emisiones de CO₂.

Actualmente el almidón ha sido aplicado como parte de un compuesto para elaborar biopelículas, con la intención de usarlas como una vía de mejora. (Young, H, et. al, 1984).

Beneficios del uso de biopelículas de almidón en alimentos:

- Reducción de contaminación, con degradación en un corto periodo de tiempo (12 a 18 meses).
- Retraso de la migración de humedad, que mantiene las características de textura, sabor, apariencia de alimentos por más tiempo.
- Retraso de la migración de gases como O₂ y CO₂, gases causantes de daños en los alimentos.
- Mejora de propiedades en la manipulación de los alimentos.

Fotografía 8.1. Aplicación de biopelículas de almidón

Fuente: (Buensuceso, 2010)



1.2.17 Aditivos de películas biodegradables

Conservantes

Los conservantes son sustancias que se añaden a los alimentos para alargar el tiempo de vida de estos, tratando de reducir la presencia de microorganismos entre los principales conservantes tenemos:

1.2.17-1 Sorbato de potasio

Conocido como sal de ácido sórbico, su fórmula molecular es $C_6H_7O_2K$ posee una solubilidad mayor que el agua, sal cuyo principal uso es como conservante de alimentos, en variedad de aplicaciones, debido a que es un agente microbiano capaz de prevenir y retrasar el desarrollo de microorganismos, principalmente ayuda a la reducción de agua y aumento de acidez, también preserva color, textura y el valor nutricional.

1.2.17-2 Ácido acético

Es el componente principal del vinagre, el segundo ácido de los grupos carboxílicos en tener un ($C_2H_4O_2$) solo carbono, este es un ácido muy diluido en agua con una concentración de 3-5%, por eso se presenta en estado líquido, realiza una importante acción conservadora gracias a su grado de acidez, este aspecto frena el crecimiento de microorganismos aunque no los elimina, en una combinación con temperaturas de refrigeración y el grado de acidez, permite conservar el alimento en buenas condiciones durante más tiempo. Permite descomponer la amilopectina de los almidones que es ramificado en moléculas rectas, para que el almidón quede con largas cadenas rectas que permiten obtener un buen plástico. (GTM, (s.f))

1.2.17-3 Aceites esenciales

Los aceites esenciales extraídos de algunos tipos de vegetales tienen actividad bactericida y pueden ser utilizados en la preservación de alimentos. Estudios in vitro han demostrado la actividad antibacteriana de aceites esenciales frente a patógenos, las bacterias Gram negativas son algo menos susceptibles a estos tratamientos que las bacterias Gram positivas. Hoy en día se conoce las propiedades antibacterianas de los principales componentes de los aceites esenciales tales como: carvacrol, timol, eugenol, linalol, perillaldehído, cinamaldehído y ácido cinámico. Estos productos tienen concentraciones mínimas inhibitorias en el rango 0,05–5 μml^{-1} in vitro; sin embargo, es necesario utilizar concentraciones más elevadas para obtener el mismo resultado en alimentos (Burt. S , 2004)

1.2.18 Plastificantes

Son aquellos componentes de películas que se agrega para suavizar la estructura rígida de las películas, sustancias estables y no volátiles con un alto punto de ebullición, es muy importante en formación de películas debido a que estas afectan las propiedades mecánicas y la permeabilidad, alterando la estructura y la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases y agua al reducir fuerzas intermoleculares e intramoleculares. Los plastificantes utilizados como aditivos en la matriz polimérica, ayuda al proceso, aumentando la flexibilidad y reduciendo las fuerzas intermoleculares, el agua es el disolvente principal para la formación de polímeros naturales además de los glicoles como el sorbitol y la glicerina por su bajo peso molecular, conveniente para realizar el proceso de plastificación (Pilla, y otros, 2017).

1.2.18-1 Glicerol

Propan 1,2,3-triol ($C_3H_8O_3$) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (-OH), líquido con un coeficiente de viscosidad alta, no tiene color, pero si un característico olor, su sabor es dulzón, es fácilmente soluble en el agua el cual se descompone en ebullición. Es el plastificante más conocido que se lo utiliza para reducir la naturaleza frágil, ayuda a mejor la flexibilidad de la película, aunque lo que le puede afectar es la permeabilidad de vapor de agua y gases, ya que es muy hidrófilo e higroscópico, es de bajo peso molecular, es buen modificador de interacciones entre macromoléculas y es el que ayuda a aumentar la movilidad de las cadenas de los polímeros. (Álvarez, 2012).

El glicerol aumenta la flexibilidad de las biopelículas ya que este es un suavizante para el almidón, el glicerol es un plastificante idóneo ya que tiene un peso molecular bajo haciendo que se reduzca los enlaces intermoleculares entre cadenas de polímeros.

1.2.18-2 Carboximetilcelulosa

La carboximetilceluosa (CMC) es un polisacárido derivado de la celulosa con un residuo lineal aniónico de glucopiraosa B (1-4), compuesto orgánico, derivado de la celulosa, compuesto por grupos carboximetil, enlazados a algunos grupos hidroxilo, presente en polímeros de la glucopiranososa.

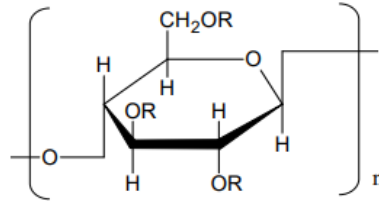
La goma Carboximetilcelulosa (CMC) al ser un hidrocoloide de gran utilidad en la industria de alimentos. Por su transparencia, viscosidad y tolerancia a medios ácidos es empleado en muchos productos, dentro de los más destacados se encuentran:

Productos lácteos congelados, leches saborizadas, cosméticos y cuidado personal, industria química, entre otros.

La carga negativa de la CMC favorece el desarrollo de sus características de viscosidad. (Fennema, 2000).

Figura 9-1. Estructura Química de Carboximetilcelulosa

Fuente: (Fennema, 2000)



1.2.19 Películas biodegradables y recubrimientos

El uso de películas en alimentos, evitan la pérdida o ganancia de humedad, que provoca una modificación en su textura y rigidez, aplazan los cambios químicos como el color, aroma y valor nutricional, ya que actúan como barrera contra el intercambio de gases que influye en la estabilidad química y microbiológica, además de evitar el daño mecánico por manipulación. La aplicación de películas elaboradas con biomoléculas, también puede funcionar como un microsistema que ayuda a modificar las atmósferas del interior de los productos vegetales, lo que representa una alternativa para la conservación de productos hortofrutícolas frescos, al reducir significativamente la pérdida de peso, agua y el intercambio de gases, así como retrasar el envejecimiento y mejorar la calidad sensorial de éstos, las películas a parte de aumentar la vida útil de la fruta lo que hace también es ser una de las alternativas en la solución de la contaminación del medio ambiente, utilizando polímeros con menor impacto ambiental, debido a que empresas generan una cantidad de desechos del cual se les puede dar un valor agregado, entre estos recursos renovables se tiene el almidón, con alta posibilidad de remplazar envases sintéticos. Las películas elaboradas a base de almidones controlan el desarrollo de microorganismos, cambios fisiológicos y fisicoquímicos, intercambio gaseoso, mejorando así las características organolépticas del alimento. (Solano, y otros, 2018).

Según (Pilla, y otros, 2017) las propiedades de la película resultante dependen de factores tales como: tipo de almidón y plastificante, una vez unidos se formará el almidón termoplástico, lo que proporcionará un material termoplástico que se podrá moldear. Las películas y recubrimientos tienen el papel más importante en la conservación de distintos tipos de alimentos, desarrollados con el fin de extender la vida útil, el recubrimiento aplicado en los alimentos tiene una capa delgada, del cual puede ser ingerida por el consumidor, posee una barrera semipermeable a la humedad y reacciones de pardeamiento enzimático, tiene diferentes métodos de aplicación, entre los más conocidos: envoltura, cepillado, inmersión y rociado.

1.2.20 Propiedades mecánicas de biopelículas elaboradas a base de almidón.

Las propiedades mecánicas de las biopelículas son reflejadas en características físicas como: la durabilidad, así también como la capacidad de recubrimiento para mejorar la probidad mecánica de los alimentos. Los biofilms elaborados a base de polisacáridos son rígidos, por lo que, es necesario adicionar a la formulación, plastificantes como el glicerol facilitando así su manipulación y de esta manera se logra conseguir las propiedades mecánicas óptimas. Dichas biopelículas son generalmente a base de agua, los plastificantes más eficaces son similares a la estructura del polisacárido; por eso, los plastificantes hidrófilos que contienen grupos hidroxilo son los más adecuados para este uso, plastificantes utilizados comúnmente para películas a base de polisacáridos son: glicerol, sorbitol, xilitol, manitol, propilenglicol, polietilenglicol y etilenglicol.

1.2.21. Resistencia Mecánica de Biopolímeros

El comportamiento mecánico de los polímeros es mucho más complicado en comparación con el de los metales, y sus características mecánicas como: módulo elástico y resistencia a tracción inferiores.

Los plásticos que tienen un módulo alto se denominan plásticos duros, mientras que los que tienen un módulo bajo se conocen como plásticos blandos.

Según la norma ASTM los plásticos duros son aquellos que tienen un módulo superior a 100MPa, los semiduros tienen un módulo entre 70 y 700 MPa y los blandos son todos aquellos que tengan un módulo inferior a 70 MPa. (Beltrán, 2012)

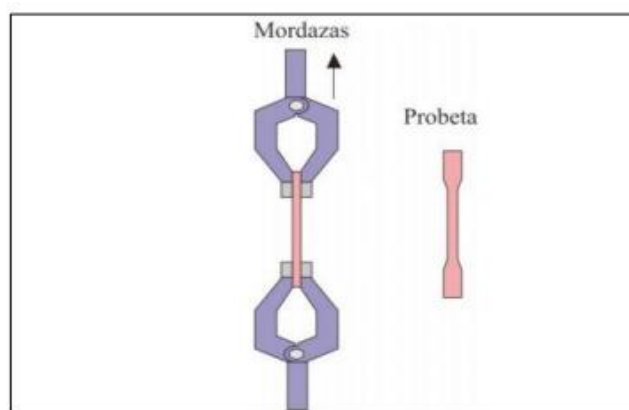
1.2.21-1. Resistencia a la Tracción

La resistencia a la tracción es el máximo esfuerzo que puede resistir un material, previo a su rotura por estiramiento desde ambos extremos (derecho-izquierdo), a una temperatura, humedad y velocidad específicas.

De igual manera, la resistencia a la tracción y la deformación a la rotura, señalan el máximo esfuerzo que el material puede soportar. Elongación o extensión es el máximo esfuerzo de tracción a la que un material puede estar sujeto antes de su rotura. (Mariano, 2011).

Figura 10-1. Mordazas y probeta tipo halterio para ensayos de tracción

Fuente: (Beltrán, 2012)



1.2.22 Influencia de la Carboximetilcelulosa en la Resistencia Mecánica de Biopolímeros

Al aumentar la concentración de plastificante, las propiedades mecánicas son mejores por lo tanto favorece la solubilidad en agua de los biofilms.

Por otra parte, las propiedades físico-mecánicas tales como: elongación, resistencia a la tensión y permeabilidad al vapor de agua dependen de las concentraciones de plastificantes usadas en la elaboración de biopelículas, como resultado al incrementar las concentraciones de carboximetilcelulosa disminuye la elongación y la permeabilidad, mientras que incrementa la resistencia a la tensión.

Según autores, este resultado, se le atribuye al incremento de interacciones moleculares aumentando de esta manera la fuerza cohesiva de los biofilms.

1.2.23 Propiedades de barrera de biopelículas elaboradas a base de almidón

1.2.23.1 Barrera al oxígeno

Los recubrimientos elaborados a base de almidón generalmente son comparados, en cuanto a la propiedad de barrera al oxígeno, con otras alternativas de recubrimiento; debido a que, al ser una excelente barrera entre el oxígeno de la atmósfera y el alimento, se logra extender la vida de anaquel del mismo (Kramer, 2009). A niveles de humedad relativa bajos o intermedios, las biopelículas y recubrimientos elaborados a base de polisacáridos son barreras contra el oxígeno, debido a su alta estructura con enlaces de hidrógeno.

1.2.23.2 Barrera a la humedad

Los recubrimientos comestibles elaborados a base de sustancias solubles en agua no son tan recomendados, como migradores de la humedad en un alimento, partiendo de una concentración alta a una baja de humedad. No obstante, se ha podido demostrar que los recubrimientos a base de almidón retardan la migración del agua. (Kramer, 2009).

Según (Kramer, 2009) de las diferentes biopelículas elaboradas a base de polisacáridos, las que presentan mejores propiedades de barrera hacia el agua, son las elaboradas a base de almidón. A continuación, se presentan los valores de permeabilidad al vapor del agua, de algunas biopelículas elaboradas a base de almidón más ciertos aditivos.

Tabla 5-1: Permeabilidad al vapor del agua de biopelículas elaboradas a base de almidón.

Almidón + aditivos	Condiciones del experimento	$PVA \left(\frac{g \cdot mm}{m^2 \cdot d \cdot kPa} \right)$
Almidón de yuca + glicerol	25°/22-99%	9.7± 0.9
Almidón de maíz	20°C/33-98%	3.17±2.24
Almidón de maíz. Alto porcentaje de amilosa	20°/22-99%	2.26±1.39

FUENTE: (Kramer, 2009)

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

1.2.21 Diferencias entre bioplásticos y plásticos convencionales

Tabla 6-1: Diferencias entre bioplásticos y plásticos convencionales

BIOPLÁSTICOS	PLÁSTICOS CONVENCIONALES
Su origen proviene a partir de materias orgánicas, de recursos renovables, o de residuos de la agroindustria.	Se origen proviene de materias y recursos no renovables, depende de recursos fósiles.
Se degradan con facilidad en el ambiente. (Biodegradables)	No se degradan con facilidad y se acumulan en el ambiente, contaminación ambiental excesiva, tardan miles de años en degradarse.
Al ser biodegradables no son contaminantes, cuando liberan agua, y sustancias que no son tóxicas.	Al tiempo que se degrada libera sustancias tóxicas contaminantes, así mismo el tiempo de degradación es un período muy largo.
Al ser bioplástico terminan generando micro plástico.	Las partículas de micro plásticos son contaminantes en exceso.

FUENTE: (Bioplásticos y plásticos degradables, 2018 pág. 11)

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Objetivos

2.1.1 General

- Formular y caracterizar una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) para el embalaje de alimentos.

2.1.2 Objetivos Específicos:

- Extraer almidón de la mazorca del maíz morado (*Zea Mays L*) mediante método seco.
- Caracterizar el almidón obtenido mediante pruebas físicas y químicas.
- Formular biopelículas con distintas concentraciones de almidón y aditivos.
- Determinar la vida útil de los alimentos recubiertos con la biopelícula.

2.2 Hipótesis y especificación de variables

2.2.1 Hipótesis General

- La biopelícula obtenida a partir de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), tendrá las propiedades requeridas para conservar un alimento.

2.2.2 Hipótesis Específicas

H1: El porcentaje de amilopectina interviene en la formación de la biopelícula.

H2: El bioplástico obtenido se degrada en menor tiempo que plástico convencional lo cual contribuye a disminuir la contaminación ambiental.

H3: La aplicación de la bio-película polimérica en el recubrimiento de alimentos, mejorará la vida útil de los mismos.

2.2.3 Identificación de Variables

Tabla 1-2: Identificación de variables que intervienen en el proceso de formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado.

Etapas del Proceso	Variables independientes	Variables dependientes
Extracción del almidón de la mazorca del maíz morado (<i>Zea Mays L</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pérdida de peso. ➤ Solubilidad ➤ Humedad 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura de secado ➤ Método de extracción ➤ Tiempo de decantación
Caracterización del almidón	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tamizaje de la harina 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propiedades físicas y químicas de la bio-película. ➤ Propiedades biodegradables de la bio-película.
Formulación de la biopelícula polimérica a partir del maíz morado (<i>Zea Mays L.</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Combinación de aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura de gelatinización.
Determinación de la vida útil de los alimentos recubiertos con el bioplástico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Espesor ➤ Forma del bioplástico 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Color ➤ Olor ➤ Tiempo de conservación. ➤ Textura ➤ Permeabilidad ➤ Pardeamiento enzimático

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

2.2.4 Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de las variables que intervienen en la elaboración de una biopelícula

Variable	Concepto	Categoría	Subcategoría	Indicador	Instrumento de medición
Independiente: Formulación de una biopelícula polimérica a partir de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L</i>)	La biopelícula, es un sistema microbiano organizado, conformado por una o varias especies de microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, caracterizada por la formulación de un molde extracelular adhesivo protector.	Propiedades físicas, químicas, mecánicas de la biopelícula	Tiempo de secado	Temperatura	Estufa
			Pérdida de peso	Peso	Balanza
			Solubilidad	Peso	Balanza
			Espesor	Grosor	Micrómetro
Dependiente: Empaquetamiento de alimentos mejora la vida útil de estos.	Los empaques son definidos como un sistema ordenado para preparar suministros para el transporte, distribución, almacenamiento, venta y uso de este que tiene que cumplir con el objetivo de contener, transportar, dosificar, proteger, almacenar, y desde luego vender a un consumidor.	Tiempo de comercialización de los alimentos		Permeabilidad	--
				Compatibilidad	Análisis microscópico
				Pardeamiento enzimático	--

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

2.2.5 Matriz de consistencia

Tabla 3-2: Matriz de consistencia de formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*).

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General	Hipótesis General	
<p>Actualmente, las exigencias de la población han cambiado continuamente y cierta parte de esta, se inclina más hacia el consumo de productos frescos mínimamente procesados, y casi listos para el consumo como: frutas, hortalizas, verduras entre otros. Mismos que representan una alta demanda de consumo por parte de la población ecuatoriana, como consecuencia de no recibir un tratamiento post cosecha, dichos alimentos se degradan con facilidad generando desechos en abundancia, por tanto, limitan su disponibilidad y el acceso a los mismos.</p>		<p>Formular y caracterizar una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L</i>) para el embalaje de alimento.</p>	<p>La biopelícula obtenida a partir de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L</i>), tendrá las propiedades requeridas para conservar un alimento.</p>	
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	VARIABLES de las hipótesis	Técnicas de recolección de datos

<p>Verduras, frutas y hortalizas son la producción alimenticia más transitoria en el mercado, como consecuencia de no recibir un tratamiento post cosecha, dichos alimentos se degradan con facilidad como consecuencia generan desechos, limitando su disponibilidad y el acceso a los mismos. Ecuador apuesta en el uso de tecnologías relacionadas al área de empaque y embalaje de alimentos que logren disminuir las pérdidas de productos frescos, dando así una respuesta al gran desperdicio global de alimentos, que se calcula en un 33% de la producción total y un 45% de frutas, verduras y hortalizas.</p>	<p>Formular biopelículas con distintas concentraciones de almidón y aditivos.</p>	<p>H1: El porcentaje de amilopectina interviene en la formación de la biopelícula</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Origen del producto de donde se obtiene el almidón. ➤ Calidad del almidón 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de contenido de amilosa y amilopectina.
	<p>Formular biopelículas con distintas concentraciones de almidón y aditivos.</p>	<p>H2: El bioplástico obtenido se degrada en menor tiempo que el plástico convencional lo cual contribuye a disminuir la contaminación ambiental.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propiedades biodegradables de la biopelícula. ➤ Pérdida de peso. ➤ Solubilidad ➤ Espesor ➤ Tamaño, granulometría 	<p>Pruebas de biodegradabilidad en compost, agua y aire.</p>

<p>Se busca aportar al desarrollo de embalajes biodegradables que ayudan a conservar las propiedades organolépticas por mayor tiempo, favoreciendo de tal manera en el impacto hacia el medio ambiente, frente a la contaminación masiva por el uso de plásticos provenientes del petróleo.</p>	<p>Determinar la vida útil de los alimentos recubiertos con la biopelícula</p>	<p>H3: La aplicación de la bio-película polimérica en el recubrimiento de alimentos, mejorará la vida útil de los mismos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tiempo de conservación. ➤ Color ➤ Olor ➤ Textura ➤ Permeabilidad ➤ Compatibilidad ➤ Pardeamiento enzimático 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prueba Visual y sensorial del alimento recubierto.
---	--	--	---	--

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

2.3 Tipo y diseño de investigación

2.3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo exploratoria ya que se centra en el análisis, investigación e interpretación de aspectos reveladores y datos obtenidos, de dos tipos: cuantitativos como son el pH, temperatura, ...etc. y datos cualitativos como el color y apariencia. Los cuales pueden ser posteriormente utilizados como aporte a la erradicación total del plástico proveniente del petróleo, un reemplazo positivo por los bioplásticos, cuyo valor significativo será el aprovechamiento de la materia prima en abundancia, en el Ecuador.

Método cuantitativo

Por medio del método cuantitativo se podrán identificar los parámetros y características fisicoquímicas que presenta el almidón como materia prima para la previa elaboración de las biopelículas, parámetros como: cantidad de amilosa, amilopectina, pH, porcentaje de humedad, temperatura de gelatinización, densidad, cantidad de ceniza, índice de solubilidad, mismos que indicarán las condiciones en las que el almidón se encuentra para la posterior elaboración de la biopelícula.

Método hipotético deductivo

Mediante el método deductivo, se pretende determinar un ensayo adecuado con las características óptimas para la biopelícula, tomando como datos de cálculo, dos variables como son las revoluciones por minuto y el tiempo. Los varios ensayos de biopelículas obtenidos experimentalmente mediante adición de aditivos a concentraciones diferentes de almidón servirán para verificar un modelo de bioplástico, con el cual se podrá determinar demás parámetros necesarios para el embalaje de alimentos.

Método lógico inductivo

Mediante del método inductivo, se busca establecer razonamientos y conclusiones, empleando la experimentación, observación y el respectivo análisis de las diversas formulaciones referente a la elaboración de un bioplástico resistente, maleable, transparente y que conserve los alimentos. La presente investigación se desarrolló mediante un análisis bibliográfico y un análisis experimental relacionado a proyectos realizados nacional e internacionalmente de la elaboración de bioplástico a partir de almidón específicamente del maíz, permitiendo de esta manera establecer rangos adecuados para la determinación de condiciones y cantidades óptimas de formulaciones que permitan obtener bioplástico.

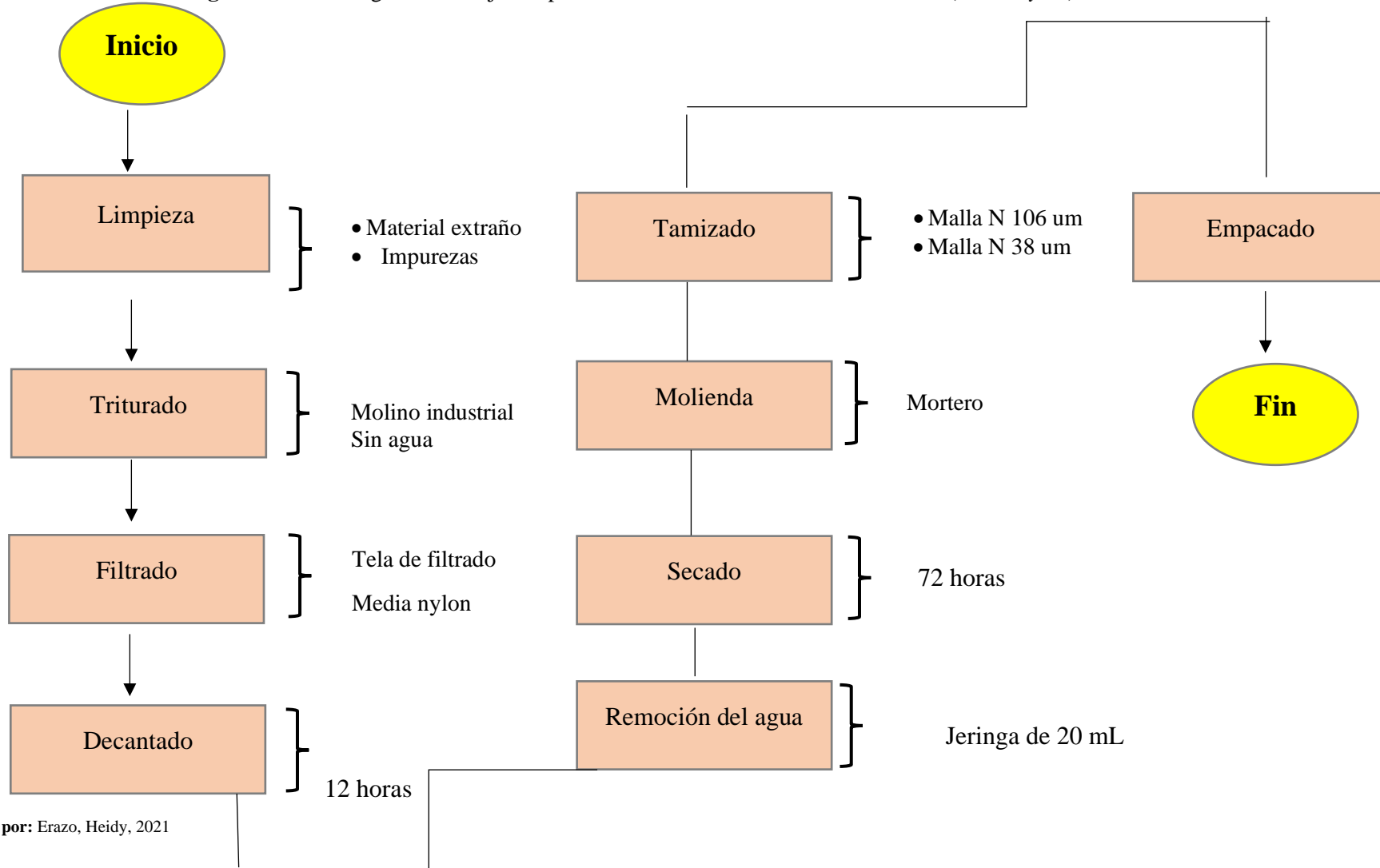
2.3.2 Diseño experimental de la investigación

El diseño experimental de la investigación se desarrolló en base a los objetivos de extraer almidón de la mazorca del maíz morado (*Zea Mays L*) mediante método seco, caracterización del almidón obtenido mediante pruebas físicas y químicas y formular biopelículas con distintas concentraciones de almidón y aditivos. Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizarán métodos científicos, analíticos y estadísticos.

Este es un proceso que se realizará en 3 etapas. La primera consiste en la extracción de almidón de la mazorca del maíz morado, mediante el método seco previo a la extracción, donde se obtendrán dos variables las RPM y el tiempo, el mejor rendimiento será analizado mediante la varianza y aplicado para la elaboración de biopelículas. La siguiente etapa es la caracterización del almidón obtenido mediante pruebas de pH, densidad, temperatura de gelatinización, viscosidad, ceniza humedad, solubilidad. En la última etapa, se realizará la formulación de biopelículas en donde según lo enunciado por Ferré (2002), el “diseño factorial 2^k tiene k factores cada uno a 2 niveles, dichos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos”. Esta metodología, la cual se utilizará, fue la descrita por Charro (2015), adaptando el diseño factorial 2^2 con un punto central y cuatro puntos factoriales, punto que estudia el efecto de dos factores (almidón y CMC) considerando dos niveles (nivel bajo (-) y nivel alto (+)).

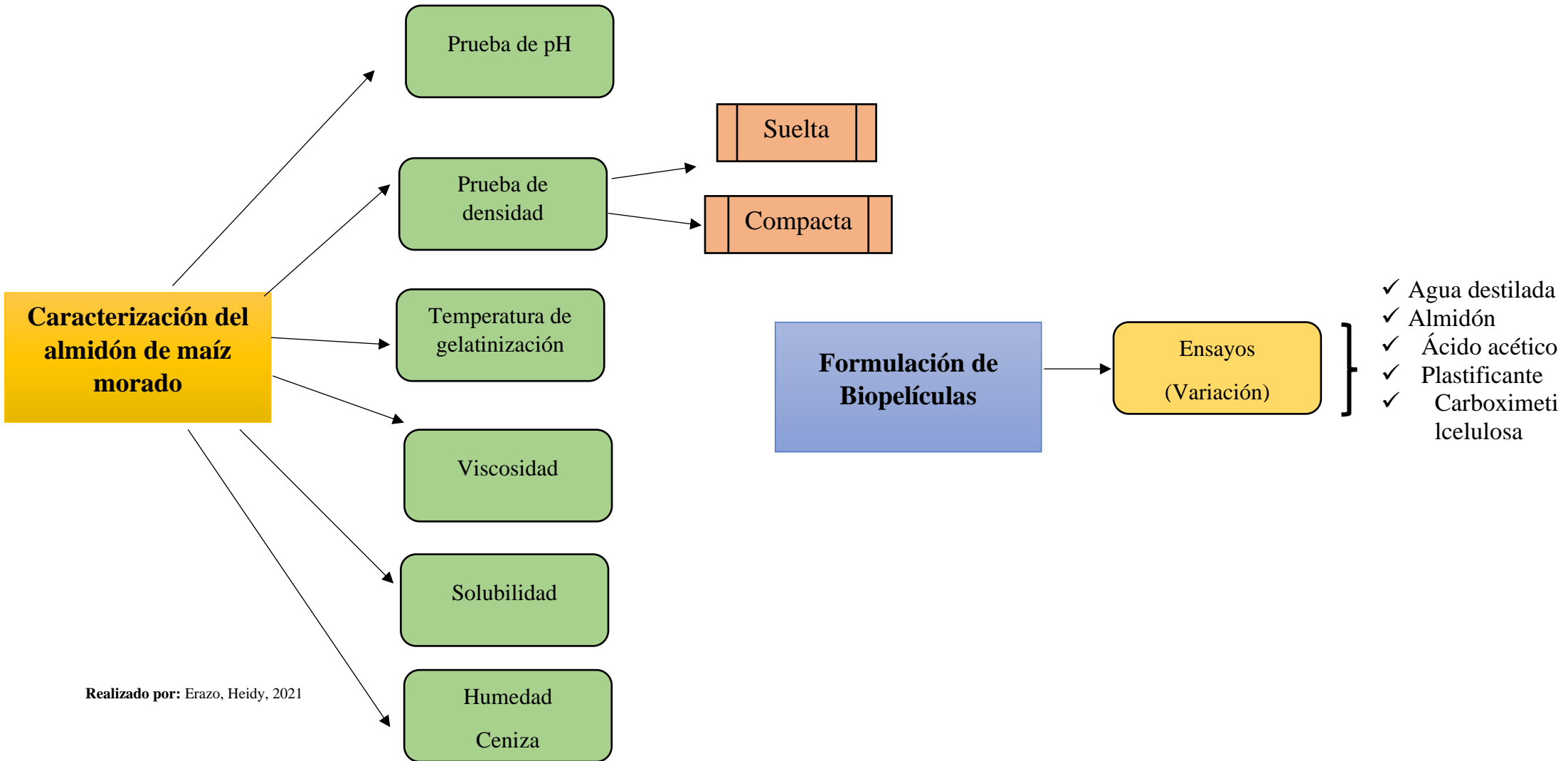
De manera general en la Figura 1-2 y 2-2 se ilustra el proceso metodológico a seguir en cada una de las etapas del presente trabajo de investigación.

Figura 1-2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de maíz (*Zea Mays L*)



Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Figura 2-2. Diagrama de flujo de caracterización del almidón



Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

2.3.3 Descripción de los equipos materiales, reactivos y materia prima

El presente trabajo de investigación utiliza equipos y materiales disponibles en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, a su vez los reactivos son proporcionados por la misma Facultad, la materia prima proveniente de cultivos aleatorios de la provincia de Chimborazo. A continuación, se detalla cada uno de ellos:

Tabla 4-2: Materiales equipos y reactivos utilizados en la parte experimental

Equipos	Materiales	Reactivos	Materias primas
Balanza analítica digital, marca OHAUS EXPLORER, modelo EX623. Serie: B704630506, Max 220 g, min 0,0001 mg.	Varilla de agitación.	300 mL de hexano	Maíz morado
Estufa, marca ESCO, modelo Isotherm OFA-54-8, Máx. Temp. 300 °C / 572 °F, volumen 115 L, serial 2015-T01866.	Crisoles, cápsulas de porcelana	2,5 gramos de sulfato de cobre 4 gramos de sulfato de sodio anhidro	Almidón de maíz morado
Mufla, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo FB1415M, Máx. Temp. 1200 °C (2192 °F).	Probetas de 10 mL, 50 mL, 100 mL.	70 gramos de hidróxido de sodio. 35 mL de ácido sulfúrico	
Viscosímetro PCE-RVI 10, rango de medición de 1 a 2.000.000 mPa·s, tiene una precisión de $\pm 1,0$ %.	Papel filtro. Espátula. Reverbero, malla.	2 gramos de ácido bórico	
pHmetro Orion Star-A1215, los Medidores de Banco de pH Thermo Scientific Orion Star A111 combinan	Bandejas y papel de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> • Disolución de Lugol • Agua destilada 	

sencillez con precisión para aplicaciones específicas de pH, rango: -2.00 a 16.00			
---	--	--	--

Realizado por: Erazo, Heidy. 2020

2.3.4 Pruebas Experimentales

El diseño experimental de la investigación se desarrolló en base al objetivo de extraer almidón de la mazorca del maíz morado (*Zea Mays L*) mediante método seco. Las pruebas experimentales se basan en la interacción de diferentes variables como son el tiempo y las revoluciones por minuto para evaluar el mejor rendimiento, como se muestra en la siguiente figura 2.3.2.

Las combinaciones de los parámetros para la extracción y formulación del almidón se establecen mediante un diseño factorial $2k$ o 2^2 . Para lo cual se establecen factores en extracción del almidón tales como: tiempo de licuado (T), (R) y revoluciones por minuto. Los valores de cada factor se expresan como nivel alto bajo, con las letras A y B respectivamente, tal como se muestra en la **tabla 14-3**.

2.4 Unidad de Análisis.

La unidad de análisis para la presente investigación es el almidón de maíz morado (*Zea Mays L*). El cual será sometido inicialmente a un proceso de caracterización, realizando pruebas de pH, densidad, solubilidad, temperatura de gelatinización, viscosidad, contenido de humedad y ceniza. Posteriormente, entrará al proceso de elaboración de biopelículas. Una vez obtenido el ensayo adecuado de bioplástico con los datos experimentales de la extracción los cuales son las revoluciones por minuto y el tiempo, se realizará la validación de la biopelícula adecuada para embalaje de alimentos.

2.5 Población de Estudio

La población de estudio corresponderá a la mazorca de maíz morado (*Zea Mays L*) sembradas y cosechadas en las provincias de la serranía ecuatoriana, comúnmente Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua.

2.6 Tamaño de Muestra

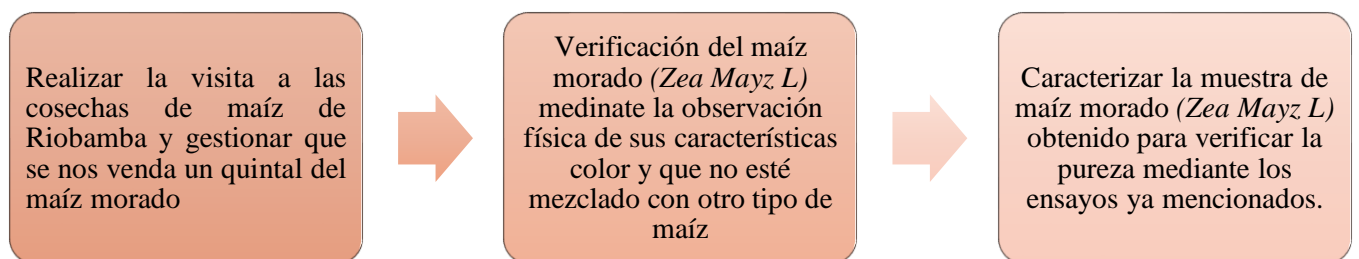
En esta investigación el tamaño de la muestra es finita debido a que se utilizará 1 quintal de mazorcas de maíz morado (*Zea Mays L*) para la formulación de la bio-película.

2.7 Selección de la Muestra

La selección de la muestra de maíz morado (*Zea Mays L*), se realizará mediante el proceso presentado en la Figura3-2.

Figura 3-2. Selección de la muestra de maíz morado

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.



2.8 Técnicas de recolección de datos

2.8.1 Técnica de Extracción

Figura 4-2. Extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)

Realizado por: Erazo, H. 2021



La extracción de almidón se realizó en base al método seco, descrito por (Carrasco, y otros, Junio 2018). A continuación, se describe el siguiente flujograma del proceso de operaciones para la formulación de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*).

- Recepción de la materia prima: Se utilizó 50 kg de maíz para obtener 25 kg de almidón extraído.
- Limpieza: Tiene por objetivo separar impurezas (palos, insectos muertos, tierra, piedras, etc.) de la materia prima.
- Triturado: se trituran las semillas de maíz morado en un molino industrial, hasta obtener el maíz en forma de harina.
- Triturado y filtrado: con la ayuda de una licuadora se licua la harina con agua y se filtran a través de una media nylon o tela de filtrado.
- Decantado: la muestra filtrada se ubicó en un recipiente plástico de un litro con tapa hermética y se deja decantar por 12 horas, para luego eliminar el agua sobrenadante.
- Secado: Se recoge el sedimentado (almidón) en bandejas de aluminio y se dejó secar al sol a 26°C a temperatura ambiente aproximadamente por un tiempo de 72 horas.

- Molienda: Se efectúa en un molino casero, o a su vez con la ayuda de un mortero, hasta lograr que los tamaños de los gránulos de almidón sean mínimos para su posterior tamizado.
- Tamizado: Para el tamizado se utilizó la malla N° 106 y 38 um, a través de la cual pasó el almidón por cada tamiz.
- Envasado: Finalmente se empaqueta el almidón obtenido y se lo envasa en bolsas herméticas asegurándose de eliminar todo el aire para así no modificar las características del almidón.

Fotografía 5-2. Licuado materia prima

Realizado por: Erazo Heidy, 2021



2.8.2 Prueba de densidad

Tabla 5-2: Método de la determinación de densidad

MÉTODO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
Procedimiento
<p>Densidad aparente del almidón suelto:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar la probeta graduada vacía. ➤ Adicionar cuidadosamente con una espátula la muestra de almidón a la probeta de 250 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado. <p>Densidad aparente del almidón empacado:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sostener la probeta con la muestra de almidón en un vibrador y adicionar almidón hasta que el volumen ocupado sea el valor mínimo

- Realizar la vibración durante cinco minutos a una frecuencia y amplitud de manera tal que la probeta vibre rítmicamente.
- Medir el volumen de muestra empacada (Johanna Aristizábal, 2007 pág. 65)

Cálculos

Densidad aparente del almidón suelto:

$$(g/mL) = [(peso probeta + almidón suelto) (g)] - peso probeta vacía (g) / 250mL$$

Densidad aparente del almidón empacado:

$$(g/mL) = [(peso de probeta + almidón empacado) (g)] - peso probeta vacía (g) / Volumen de muestra empacada (mL) (Johanna Aristizábal, 2007 pág. 65)$$

Fuente: Facultad de Ciencias Espoch.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Fotografía 6.2 Prueba de densidad

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



2.8.3 Prueba de pH

Tabla 6-2: Método de determinación del pH

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE pH	
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 5 gramos de almidón ➤ Colocar 25 mL de agua destilada en un tubo de ensayo junto con los 5 gramos de almidón. ➤ Se coloca las muestras en un agitador mecánico por un lapso de 20 minutos, hasta separar fases. ➤ Verificar el pH de la solución con la ayuda de un pHmetro, del sobrenadante. ➤ Realizar tres ensayos para tener mayor exactitud. 	

Fuente: Facultad de Ciencias EsPOCH.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Fotografía 7.2 Prueba de densidad

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



2.8.4 Prueba de temperatura de gelatinización

Tabla 7-2: Método de determinación de la temperatura de gelatinización

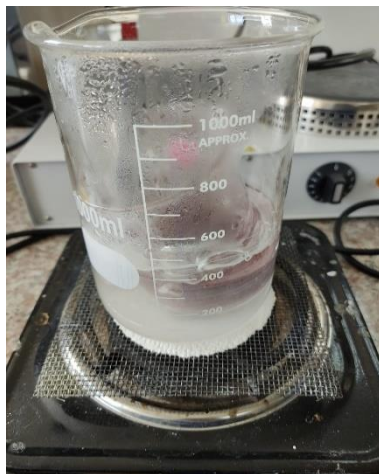
MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">➤ Para esta evaluación se realizaron dos pruebas una con 5 gramos y otra con 10 gramos.➤ Colocar 50 mL de agua en un vaso de 500 mL➤ Someter a baño María, agitando la solución hasta que esta se convierta en una especie de gel.➤ Tomar la temperatura a la cual se formó el gel➤ Realizar tres ensayos de la prueba para tener más exactitud.
Resultados esperados
Obtener una temperatura de gelatinización del maíz morado entre un rango de 70 °C y 75 °C

Fuente: Facultad de Ciencias EsPOCH.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Fotografía 8.2 Prueba de densidad

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



2.8.5 Prueba de viscosidad

Tabla 8-2: Método de determinación de la viscosidad

MÉTODO DE EVALUACIÓN DE VISCOSIDAD
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 25 gramos de almidón de maíz morado (<i>Zea Mays L.</i>). ➤ Colocar 500 mL de agua destilada o purificada. ➤ Realizar baño María, agitando la solución hasta hervir y observar las primeras burbujas. ➤ Dejar enfriar la solución a 25 °C ➤ Obtener la viscosidad de la solución con ayuda del viscosímetro.

Fuente: Facultad de Ciencias Epoch.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Fotografía 9.2 Prueba de densidad

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



2.8.6 Prueba de índice de solubilidad

Tabla 9-2: Método de determinación del índice de solubilidad

MÉTODO DE EVALUACIÓN DE CONTENIDO DEL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">➤ Se coloca 1,25 gramos de almidón➤ Adicionar 30 mL de agua destilada en los tubos de ensayo y agitar hasta formar una solución homogénea➤ Se realiza baño María hasta llegar a los 60 °C➤ Los tubos de ensayo con las muestras son ubicados en el baño María, por 10 minutos.➤ Se agita momentáneamente y de nuevo ingresa a baño maría los tubos de ensayo, durante 20 minutos.➤ Se centrifuga por 20 minutos a 300 rpm.

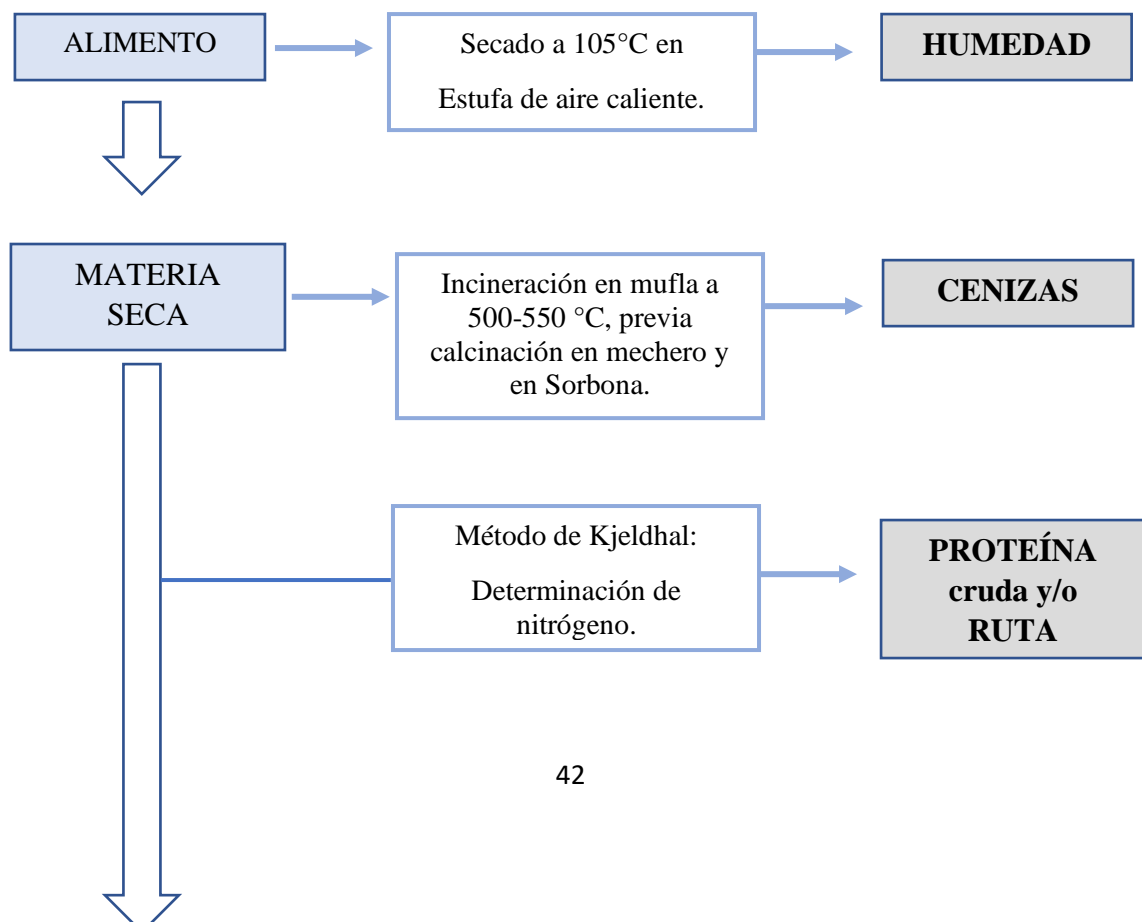
Fuente: Facultad de Ciencias Espoch.

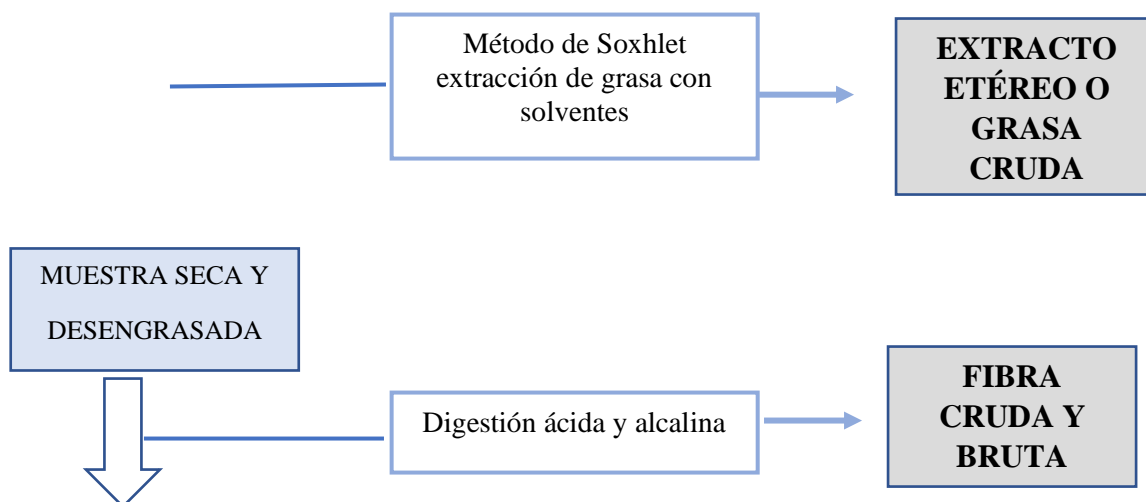
Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

2.8.7 Prueba de Ceniza, humedad, proteína, fibra.

Figura 10-2. Procedimiento prueba de ceniza, humedad, proteína y fibra

Realizado por: Erazo, H. 2021





2.8.8 Prueba de determinación de ceniza: método de incineración en mufla.

Se lleva a cabo por medio de incineración seca y consiste en quemar la muestra problema en mufla a una temperatura de $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$, para destruir la materia orgánica, que se combustiona u oxida y forma CO_2 y agua, quedando la sustancia inorgánica (sales minerales) en forma de ceniza; la incineración se lleva a cabo hasta obtener ceniza de color gris o color claro. Previamente debe calcinarse la muestra seca en campana de gases hasta ausencia de humos. Las cenizas normalmente no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a la pérdida por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes.

PRINCIPIO:

Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar e incinerar u oxidar completamente la materia orgánica de un alimento. La muestra se incinera a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ para quemar todo el material orgánico. El material inorgánico que no se destruye a esta temperatura se le llama ceniza.

Tabla 10-2: Método de determinación de determinación de ceniza

MÉTODO DE INCINERACIÓN EN LA MUFLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DE CENIZA
Procedimiento

Reactivos	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 4 gramos de almidón 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cápsulas de porcelana ➤ Mufla ➤ Rebervero ➤ Sorbona
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Colocar la cápsula con la muestra seca resultado de la determinación del contenido de humedad en un mechero y en Sorbona, para calcinar hasta ausencia de humos o colocar 2g de muestra en un crisol previamente tarado a peso constante, y realizar su calcinación en un reverbero y en la Sorbona hasta que no salga humo. ➤ Transferir la capsula a la mufla e incinerar a 500°C-550°C, hasta obtener cenizas libres de residuo carbonoso (esto se obtiene al cabo de 2 a 3 horas) y peso constante. ➤ Sacar la cápsula y colocar en desecador, enfriar y pesar. ➤ La determinación debe hacerse por duplicado. 	
Cálculos	
$\%C = \{(m_1 - m)/(m_2 - m)\} \times 100$	
<p>En donde:</p> <p>%C= contenido de ceniza en porcentaje de masa.</p> <p>m= masa de la cápsula vacía en g.</p> <p>m_1= masa de la cápsula con la muestra después de la incineración en g.</p> <p>m_2= masa de la cápsula con la muestra antes de la incineración en g.</p>	

Fuente: Facultad de Ciencias Epoch.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

NOTA:

- Si la determinación se hace en muestra fresca hay que considerar el estado físico de la misma. Así, si es líquida o pastosa, primero se tara la cápsula a 500°C-550°C por 30 minutos, se enfría en desecador y se pesa; se evapora a baño maría hasta sequedad, y se prosigue como en la determinación de ceniza.
- Si la ceniza no se vuelve blanca o presenta puntos negros, se enfría el crisol o la cápsula y se humedece su contenido con unas pocas gotas de agua destilada o de disolución de peróxido de hidrógeno y las porciones carbonizadas se aplastan con la varilla de vidrio, Ésta se limpia con agua destilada, recogiendo la misma en el crisol o la cápsula. A continuación, se repite la desecación y la incineración, se enfría en desecador y se pesa.

2.8.9 Método de desecación en estufa de aire caliente

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra desecada hasta masa constante en la estufa de aire caliente a la temperatura normalizada. La materia seca que pertenece en el alimento posterior a la remoción del agua se conoce como sólidos totales, materia seca, extracto o residuo secos.

Tabla 11-2: Método de determinación de determinación de humedad

MÉTODO DE DESECACIÓN EN ESTUFA DE AIRE CALIENTE	
Procedimiento	
Reactivos	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 4 gramos de almidón 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cápsulas de porcelana ➤ Vidrio de reloj ➤ Papel filtro ➤ Estufa ➤ Desecador
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 1-10g de muestra (previamente realizado el demuestre) en vidrio de reloj, pesa filtro o en papel aluminio o chocolatín; o directamente en cápsula de porcelana previamente tarada, repartir uniformemente en su base. ➤ Colocar en la estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por un lapso de 2 a 3 horas, hasta peso constante. ➤ Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y pesar. ➤ La determinación debe realizarse por duplicado. 	
Cálculos	
$SS(\%) = \{(m_2 - m)/(m_1 - m)\} \times 100$	
<p>En donde:</p> <p>SS= sustancia seca en porcentaje en masa.</p> <p>m= masa de la cápsula en g.</p> <p>m_1= masa de la cápsula con la muestra en g.</p> <p>m_2= masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g.</p> $\%HUMEDAD = 100 - SS(\%)$	

Fuente: Facultad de Ciencias Espoch.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

NOTA:

- Para iniciar el proceso se debe tarar las cápsulas de porcelana (colocar la cápsula en la estufa a 105°C por 30 minutos, sacarla y ponerla en el desecador, esperar por 20 minutos y pesarla).
- Después de 3 a 4 horas de secado en la estufa de aire caliente, se debe secar la cápsula, colocarla en el desecador por 10 minutos, pesarla y colocarla nuevamente en la estufa a la misma temperatura. Esperar 30 minutos y nuevamente repetir el proceso hasta que el peso sea peso constante.

2.8.10 Prueba de contenido de fibra cruda

Se asa en la sucesiva separación de la ceniza, proteína, grasa y sustancia extraída libre de nitrógeno; la separación de estas se logran mediante el tratamiento con una solución débil de ácido sulfúrico y álcali, agua caliente y acetona. El ácido sulfúrico hidroliza a los carbohidratos insolubles (almidón y parte de hemicelulosa), los álcalis transforman en estado soluble a las sustancias albuminosas, separan la grasa, disuelven parte de la hemicelulosa y la lignina, el éter o acetona extraen las resinas, colorantes, residuos de grasa y eliminan el agua. Después de este tratamiento el residuo es la fibra bruta. El método simula el ataque gástrico e intestinal que se produce en un ser vivo, es una fracción que se encuentra solo en alientos de origen vegetal.

Tabla 12-2: Método de determinación del contenido de fibra cruda.

MÉTODO DE WEENDE DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE FIBRA CRUDA	
Procedimiento	
Reactivos	Materiales
<ul style="list-style-type: none">➤ Solución de ácido sulfúrico 1.25%➤ Solución de hidróxido de sodio 1.25%➤ Agua caliente➤ Acetona➤ Núcleos de ebullición➤ Hexano➤ Etanol	<ul style="list-style-type: none">➤ Matraz de bola fondo plano, 600 mL➤ Unidad de condensación para el matraz➤ Papel filtro➤ Embudo Buchner➤ Crisol Gooch➤ Vaso de Berzelliuss➤ Condensador➤ Mufla➤ Desecador
Procedimiento	

- Pesar 2 gramos de la muestra desengrasada y seca y colocar en el vaso de Berzellius con núcleos de ebullición y 250 mL de ácido sulfúrico 1.25%.
- Colocar el vaso en el equipo y ajustar al condensador, subir la parrilla y calentar hasta ebullición.
- Mantener la ebullición por media hora exacta, contados a partir de que empieza a hervir.
- Desconectar el vaso del condensador, enfriar y filtrar al vacío.
- Lavar el vaso y el residuo del papel con 250 mL de agua destilada caliente.
- El residuo trasvasar cuantitativamente al vaso d Berzellius y añadir 250 mL de NaOH 1.25%.
- Colocar el vaso en el equipo y ajustar al condensador, subir la parrilla y calentar hasta ebullición.
- Mantener la ebullición por media hora exacta, contados a partir de que empieza a hervir.
- Desconectar el vaso del condensador, enfriar y filtrar por crisol de Goochconteniendo una capa de lana de vidrio y previamente tarado.
- Lavar el vaso y el residuo del papel con 250 mL de agau destilada caliente.
- Lavar por último con 15 mL de hexano o etanol.
- Colocar el crisol de Gooch en la estufa a 105° durante toda la noche, luego enfriar en el desecador y pesar.
- Colocar el crisol de Gooch en la mufla a 600 °C por media hora, enfriar y el desecador y pesar.

Cálculos

$$\%F = (P1 - P) / m \times 100$$

En donde:

%F= fibra cruda o bruta en muestra seca y desengrasada expresada en porcentaje en masa.

P1= masa del crisol más el residuo desecado en la estufa en gramos

P= masa del crisol más las cenizas después de la incineración en la mufla en g.

m= masa de la muestra seca y desengrasada tomada para la determinación en g.

Fuente: Facultad de Ciencias Epoch.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

2.8.11 Prueba de determinación de contenido de proteína cruda.

Sometiendo a digestión una muestra problema con ácido sulfúrico concntrado, los hidratos de carbono y las grasas se destruyen hasta formar CO₂ y agua, la proteínase descompone con la formación de amoniaco, el cual es retenido por el ácido sulfúrico en forma de sulfato de amonio, este sulfato en medio ácido es resistente y su destrucción con desprendimiento de amoniaco sucede solamente en medio básico; luego de la formación de la sal de amonio previa la destilación

actúa una base fuerte NaOH al 50% y se desprende el nitrógeno en forma de amoníaco, este amoníaco es retenido en una solución de ácido bórico al 2,5% que contiene el indicador mixto rojo de metilo y verde de bromocresol y titulado con HCl al 0,1 N.

Tabla 13-2: Método de determinación de contenido de proteína

MÉTODO DE MICROKJELDHAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE PROTEÍNA	
Reactivos	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> ➤ K₂SO₄ o Na₂SO₄ ➤ HgO ➤ Ácido sulfúrico concentrado ➤ NaOH al 40% ➤ Na₂S₂O₃ al 5% ➤ H₃BO₃ al 4% ➤ HCl 0,1 N ➤ Indicador mixto rojo de metilo y verde de bromocresol; 450 mg de rojo de metilo más 250 mg de verde de cresol, disueltos en 250 mL de etanol al 95% 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Unidad de digestión y destilación Kjendahl. ➤ Pipetass de 5mL y 10 mL ➤ Vaso de precipitación de 50mL ➤ Bureta de 25 mL ➤ Erlenmeyer de 250 mL ➤ Soporte y pinza de bureta ➤ Balanza ➤ Balón de digestión de Kjeldhal ➤ Sorbona
Procedimiento:	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar exactamente 40 mg muestra seca e introducirla en el balón de digestión Kjeldhal ➤ Añadir 1.5g de K₂SO₄ o Na₂SO₄; 40 mg de HgO, 2mL de ácido sulfúrico concentrado p.a. procurando no manchar las paredes del mismo. ➤ Colocar el balón en el digestor y calentar hasta obtener un líquido transparente ➤ Endriar el balón y su contenido, adicionar 4 mL de agua destilada para disolver el contenido que al enfriarse se solidifica. ➤ Verter lo anterior en el balón de destilación del equipo, adicionando otros 4mL de agua destilada para enjuagar el balón. ➤ Cerrar la llave y en un vaso de precipitación de 50 mL preparar de 8 mL de NaOH al 40% y 2 mL de Na₂SO₄ al 5%, abrir la llave y verter dejando pasar lentamente al balón de destilación. ➤ Recibir el destilado en un vaso conteniendo 12 mL de H₃BO₃ al 4% y 8% mL de agua destilada al que se le añade 3 o 4 gotas del indicador mixto rojo de metilo y verde de bromocresol. El tubo de salida del destilador debe estar sumergido en el vaso que contiene los reactivos 	

- Destilar hasta obtener 30 mL de destilado.
- Titular el destilado con HCl
- La determinación debe hacerse por duplicado.

Cálculos

• $\%P = 1.4 \times f \times V \times N/m$

En donde:

$\%P$ = Contenido de proteínas en porcentaje de masa

F = factor para transformar el $\%N_2$ en proteína, y que es específico para cada alimento.

V = volumen de HCl o H₂SO₄ empleado para titular la muestra en mL

N_i = normalidad de HCl

m = masa en gramos.

Fuente: Facultad de Ciencias EsPOCH.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

2.8.12 Prueba de determinación de grasa cruda (bruta) o extracto etereo

Tabla 14-2: Determinación de grasa cruda (bruta) o extracto etereo

MÉTODO DE SOXHLET PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE EXTRACTO ETereo	
Reactivos	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 250 ml de Hexano ➤ Muestra seca 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipo de Soxhlet. ➤ 3 cápsulas de porcelana ➤ Desecador
Procedimiento:	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 2g de muestra seca y colocar en el dedal de celulosa previamente tarado y se registra su peso, se coloca sobre el dedal algodón para evitar que se produzca evaporación, se pierde la muestra o se separe del dedal, luego introducirlo en la cámara de sifonación ➤ En el balón previamente tarado (se debe registrar su peso), adicionar 250 mL de éter etílico o éter de petróleo, o hexano. ➤ Embonar la cámara de sifonación al balón. ➤ Colocar el condensado con las mangueras sobre la cámara de sifonación. ➤ Encender la parrilla, controlar la entrada y salida del agua y extraer por 2 a 4 horas. ➤ Al terminar el tiempo, retirar al balón con el solvente más el extracto graso y destilar el solvente (rota vapor). ➤ El balón con la grasa bruta o cruda colocar en la estufa por media hora, enfriar en el desecador y pesar. 	

Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> • $\%G(\%ExE) = ((P1-P)/m99) \times 100$ <p>En donde:</p> <p>%G= grasa cruda o bruta en muestra seca expresado en porcentaje en masa.</p> <p>P1= masa del balón más la grasa cruda o bruta extraída en gramos.</p> <p>P= masa del balón de extracción vacío en gramos.</p> <p>M= masa de la muestra seca tomadapara la determinación en gramos.</p>

Fuente: Facultad de Ciencias Epoch.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

2.8.13 Técnica y fundamento para realizar el análisis de las biopelículas.

Análisis físicos de las biopelículas elaboradas a base de almidón de maíz morado. Según (Charro, 2015) para los análisis de pH y humedad se consideró como referencias las normas NTE INEN de las materias primas utilizadas en las biopelículas.

Tabla 15-2: Análisis físico y mecánicos

MÉTODO	TÉCNICA	FUNDAMENTO
pH	AOAC (1995)	Se realiza una disolución de 5 gramos de muestra y 100 ml de agua destilada, filtrar y con el pH metro de mesa, bien calibrado se realiza la lectura por triplicado de cada tratamiento.
Humedad	AOAC (1995)	Este método consiste en evaporar de manera continua la humedad de la muestra, se coloca 1 g de muestra en una cápsula de porcelana, previamente tarada y se pesa, seguido, se coloca en la mufla a una temperatura de 130°C por 2h 30 min aproximadamente hasta tener peso constante
Espesor	Micrómetro INEN 891 (2011) y INEN 891 (2011)	Se mide con un micrómetro digita, con exactitud de 0,025 a 0,2mm, en 10 medidas localizadas al azar la biopelícula.
Resistencia al agua, tierra, aire.	Método descrito por (Blanco, 2013)	Las biopelículas se fijan en celdas calibradas con un área (9m ²) y se vierte agua destilada (3ml) sobre la superficie de la biopelícula, 10 cm bajo tierra; es decir el bioplástico debe estar cubierto por completo, adicional a esto se coloca el trozo de biofilms al aire libre a temperatura ambiente, como consecuencia a esto se examina la deformación de la biopelícula debido al efecto del agua (cm), el tiempo que el

		<p>agua comienza a filtrarse a través de la biopelícula y el tiempo que tarda la película en romperse.</p> <p>Todas las pruebas se realizaron por triplicado.</p>
Permeabilidad al vapor de agua	Método descrito por (Blanco, 2013)	<p>Desde el punto de vista de la permeabilidad, lo fácil o complicado que sea que moléculas de un determinado gas entren al interior del bioplástico, con normalidad desde el ambiente exterior, puede influir directamente en la conservación del alimento que se encuentra en el interior del empaque biodegradable.</p>

Fuente: (Charro, 2015)

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

2.8.14 Síntesis de resultados, metodologías y herramientas para la formulación y selección del recubrimiento/ biopelícula comestible.

Tabla 16-2: Metodologías y herramientas para la formulación y selección del recubrimiento/ biopelícula comestible.

Objetivo Específico	Resultado	Estrategia, herramienta, metodología de investigación
Formular biopelículas con distintas concentraciones de almidón y aditivos	Formulación de la concentración (nivel bajo y alto) de almidón de maíz morado (factor a evaluar) a varia en el diseño de experimentos	Realización de una prueba piloto para la formulación del recubrimiento: a) Uso del diseño factorial 2k para obtener las 4 formulaciones piloto, compuestas de almidón de maíz morado, plastificante, y otros aditivos. b) Análisis visual y sensorial Ver ANEXO... para evaluar la pérdida de peso en fresas recubiertas y no recubiertas. c) Evaluación de la vida útil de los recubrimientos en fresas y apariencia visual de la misma. d) Evaluación de elasticidad, facilidad de desmoldar, brillo, opacidad, y apariencia de las formulaciones piloto en forma de biopelículas e) Selección de la formulación con mejor comportamiento al ser aplicado en fresas y al ser evaluada como biopelícula.
Caracterizar el almidón obtenido mediante pruebas físicas y químicas.	Identificar qué factores (porcentaje de almidón y porcentaje de glicerol) inciden de manera estadísticamente significativa en los parámetros evaluados en las biopelículas.	Utilizar un software estadístico para identificar según una prueba estadística ANOVA factores que tienen efectos estadísticamente significativos. Establecer un método de evaluación para seleccionar la formulación con mejor comportamiento al ser aplicada en moras y fresas y al ser evaluada en forma de biopelícula.

	Obtener la formulación con mejor comportamiento, la cual se aplicará en fresas para evaluar su aceptabilidad sensorial.	Seleccionar la formulación con mejor comportamiento al ser aplicada en fresas y al ser evaluada en forma de biopelícula (recubrimiento).
Determinar la vida útil de los alimentos recubiertos con la biopelícula	Obtención del período de vida de anaquel para fresas no recubiertas y recubiertas, bajo las condiciones de experimentación.	Realizar una prueba preliminar, estableciendo el período de tiempo de evaluación mediante bibliografía. En base a datos recolectados en la prueba preliminar, realizar una segunda prueba para establecer finalmente el período de vida de anaquel de fresas recubiertas. Ver ANEXO....

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Resultados

Una vez descrita la metodología experimental se procede a la adaptación de la misma, como primera instancia se desarrollan las metodologías para la formulación de almidón de maíz morado y su correspondiente caracterización; posterior a eso se describe la toma de dos constantes elaboradas para obtener los datos necesarios para armar el diseño experimental 2k, luego se presentan los resultados para la evaluación de las formulaciones de recubrimiento tanto al ser aplicadas en fruta fresca como en forma de biopelícula, identificando si existen diferencias estadísticamente significativas en su comportamiento, para finalmente optar por la formulación que presente mejor rendimiento en cada uno de los parámetros evaluados.

3.2 Fase de Laboratorio

Para un óptimo desarrollo de la presente investigación se presenta las etapas que se detallan a continuación:

Extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), para su posterior caracterización.

Elaboración del bioplástico a partir de las formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2²

Caracterización del bioplástico, determinación de parámetros físicos: espesor, humedad, permeabilidad, solubilidad, biodegradabilidad y parámetros mecánicos: ensayo de resistencia a la tracción

3.2.1 Extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), para su posterior caracterización

Tabla 1-3: Composición proximal del almidón morado

Componente	Porcentaje
Humedad	8.697%
Proteína	9.352%
Fibra	2.033%
Extracto etereo	8.363%
Ceniza	1.563%

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

A partir de los valores de humedad, ANEXO.... tabla 1-3 de humedad, proteína, ceniza, extracto etereo y fibra en % P/P, se calculó el grado de pureza del almidón obtenido, empleando la siguiente ecuación según (Tapia, y otros, 2012)

$$\%Pureza = 100 - (\%humedad + \%proteína + \%extracto\ etereo + \%cenizas)$$

$$\%Pureza = 100 - (8.697 + 9.352 + 8.363 + 1.563)$$

$$\%Pureza = 72.025 \%$$

Según los cálculos realizados el almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), extraído, tiene un grado de pureza de 72.025%, lo cual, es atribuido por la naturaleza y composición de la pulpa de la gramínea.

Agregando a lo anterior, de los datos de composición proximal y pureza del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), es de importancia el conocer el contenido en amilosa y amilopectina del producto, debido a qué de esto dependerá el comportamiento del almidón en propiedades como: temperatura de gelificación y transparencia del recubrimiento a elaborar. En la siguiente tabla 2.3 y ANEXO se añade el porcentaje de amilosa y amilopectina del almidón de maíz morado.

Tabla 2-3: Porcentaje de amilosa y amilopectina.

Tipo de almidón	% amilosa	% amilopectina
Almidón de maíz morado	26.09	73.91

Fuente: INIAP, 2021

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Discusión: El análisis mostrado en la **tabla 2-3** fue realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias 2021, el mismo que indica que el contenido de amilosa es de 26.09%, al ser la amilosa el principal componente para la combinación junto con el plastificante (glicerina), dando origen a fuerzas polares que forman una red de enlaces para optimizar tanto las propiedades mecánicas como las de barrera de la biopelícula. (Charro, 2015 pág. 67).

El valor de 26.09% de amilosa es la atribución representativa de excelentes propiedades por su capacidad al hincharse al entrar en contacto con el agua, beneficiando de esta manera, la formulación de una buena biopelícula para el embalaje de alimentos.

En cuanto a la relación amilosa/amilopectina como lo (Cardona, 2019) menciona de maíz morado otorga buenas características al bioplástico resultante ya que este parámetro define entre otras cosas el tiempo de degradación del mismo.

Según (Cardona, 2019) generalmente los almidones cuentan con una relación 20 - 80 % de amilosa y amilopectina, en este caso el almidón está en una proporción 20% del contenido total del maíz con una relación relación 26-78% lo cual hizo que el almidón interaccione de forma positiva, es decir no se tomó acciones correctivas como la adición de elevada cantidad de plastificante, o aumento de la agitación, lo que no ocurrió con (Cardona, 2019) que tuvo una relación 14 % de amilosa y 86% amilopectina, por lo que recurrió a la adición de plastificantes, agitación mecánica entre otras variables que se deben tomar en cuenta en la elaboración de polímeros.

3.2.3 Ensayos Fisicoquímicos para el almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)

3.2.3-1 Cálculos para determinar el contenido de materia seca

Tabla 3-3: Pesos para determinación de contenido de materia seca.

Tratamiento	Peso Cisoles vacíos (g)	Peso de la muestra (g)	Peso de cisoles más almidón (g)
1	34.811	5.050	39.861
2	41.197	5.071	46.268
3	33.271	5.034	38.305

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Tabla 4-3: Pesos de cisoles con la muestra de almidón seco

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
39.623	46.002	38.021
39.552	45.982	37.980
39.442	45.807	37.909
39.442	45.807	37.908

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Para determinar la cantidad de materia seca o ceniza de la muestra de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), se utiliza la ecuación 1.

Tabla 5-3: Pesos de cisoles con la muestra de almidón seco

Ensayos	Peso Cisoles vacíos (g)	Peso de la muestra (g)	Peso de cisoles más almidón (g)
1	34.811	5.050	39.861
2	41.197	5.071	46.268
3	33.271	5.034	38.305

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Ensayo 1:

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (P3 - P1)}{(P2 - P1)} [1]$$

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (39.442 - 34.811)}{(39.861 - 34.811)}$$

$$\% \text{ materia seca} = 91.702 \%$$

Ensayo 2:

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (P3 - P1)}{(P2 - P1)}$$

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (45.807 - 41.197)}{(46.268 - 41.197)}$$

$$\% \text{ materia seca} = 90.909\%$$

Ensayo 3:

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (P3 - P1)}{(P2 - P1)}$$

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (37.908 - 33.271)}{(38.305 - 33.271)}$$

$$\% \text{ materia seca} = 92.116\%$$

Decisión:

Para el ensayo 1 el contenido de materia seca o ceniza es de 91.702%, para el ensayo 2, 90.909% y finalmente para el ensayo 3 el contenido de ceniza es de 92.116%, el almidón analizado corresponde al tratamiento 3 (60 segundos velocidad baja), el promedio realizado en los tres ensayos equivale a 91.575%.

Discusión:

El promedio que se obtuvo, posterior a los cálculos realizados fue de 91.575%. Los almidones con contenidos de materia seca superior al 90% indican severas condiciones de secado y los almidones con contenidos de materia seca inferiores al 87% indican una probable contaminación de hongos y otros componentes como microorganismos. Los valores de referencia para el contenido de materia seca de los almidones deben estar entre 87 y 90%. (ICONTEC, 2002 pág. 62)

El promedio obtenido infiere en 1.575% al rango de referencia, esto se debió a que en el ensayo 3 el tiempo de secado en la estufa sobrepasó las 4 horas, que se tomó en cuenta tanto para el ensayo 1 como para el ensayo 2.

3.2.3-2 Cálculos para determinar el contenido de humedad del almidón de maíz morado

Tabla 6-3: Porcentaje de materia seca de los ensayos 1-3 de almidón de maíz morado

Ensayos	Porcentaje
Ensayo 1	91.702
Ensayo 2	90.909
Ensayo 3	92.116

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Ensayo 1:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - \text{SS}(\%) [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - 91.702$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 8.298 \%$$

Ensayo 2:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - \text{SS}(\%) [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - 90.909$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 9.091 \%$$

Ensayo 3:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - \text{SS}(\%) [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - 92.116$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 7.884 \%$$

Tabla 7-3: Contenido de humedad de los ensayos 1-3 de almidón de maíz morado.

Ensayos	Porcentaje (%)
Ensayo 1	8.298
Ensayo 2	9.091
Ensayo 3	7.884

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Decisión:

El contenido de humedad se expresó como porcentaje de agua perdida (%), el promedio de los tres ensayos es de 8.697%. Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche (México), en la cual demostró que la variedad de maíz morado tuvo el mayor porcentaje de humedad (10.43%), por ende, el porcentaje de humedad de almidón de maíz morado de la presente investigación está dentro de un rango establecido.

3.2.4 Cálculos para determinar el índice de absorción de agua (IAA)

- Índice de absorción de agua (IAA)

Tabla 8-3: Datos para calcular el índice de adsorción de agua (IAA)

Ensayos	Volumen descartado (ml)	Peso Soluble (g)	Peso de la muestra (g)	Peso del gel (g)
<i>Ensayo 1</i>	24	0.089	1.25	2.972
<i>Ensayo 2</i>	26	0.074	1.25	3.087
<i>Ensayo 3</i>	27	0.081	1.25	2.986

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{peso muestra (g)}}$$

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{2.972}{1.25} = 2.377$$

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{3.087}{1.25} = 2.469$$

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{2.986}{1.25} = 2.388$$

- Índice de solubilidad en agua (ISA)

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso Soluble(g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra (g)}}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{0.089 \times 24 \times 100}{1.25} = 17.088\%$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{0.074 \times 26 \times 100}{1.25} = 15.392\%$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{0.081 \times 27 \times 100}{1.25} = 17.496\%$$

Tabla 9-3: Datos calculados de (IAA) y (ISA)

Ensayos	Índice de absorción de agua para almidón de maíz morado (g gel/ g muestra)	Índice de solubilidad en agua para el almidón de maíz morado (%)
Ensayo 1	2.377	17.088
Ensayo 2	2.469	15.392
Ensayo 3	2.388	17.496
Promedio	2.411	16.658

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Discusión:

Mediante los datos obtenidos para calcular el índice de absorción de agua para almidón de maíz morado, se obtuvo un promedio de 2.411 g gel/ g muestra; sin embargo, (Bressani, et al., 2001) menciona que los índices de absorción de agua, para las diferentes harinas industriales nixtamalizadas de maíz IAA son (3.4-4.0 g gel/g muestra), según el rango indicado por (Bressani, et al., 2001) el promedio obtenido en la presente investigación está fuera del rango, esto se debe a que las harinas de maíz analizadas son nixtamalizadas es decir que fueron sometidas a un proceso de cocción con agua y cal viva a diferencia del almidón de maíz morado analizado. Ahora, el índice de solubilidad en agua para el almidón de maíz morado demostró un promedio igual a 16.658%, la alta solubilidad y la baja absorción de agua indican un almidón de calidad baja, que la enfriarse produce finas pastas poco estables cuando estas se enfrían. Consecuente a este se determina que el almidón analizado es un almidón de baja calidad

3.2.5 Cálculos para determinar la densidad aparente

Tabla 10-3: Datos para determinar la densidad aparente para el almidón de maíz morado.

Peso de probeta + almidón (g)	Peso probeta vacía (g)	Volumen de muestra empacada (mL)
188.61	142.71	75.5

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

- *Densidad Aparente del almidón suelto*

$$\frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón suelta})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía}(\text{g})}{100 \text{ mL}}$$

$$\frac{[(188.61)(\text{g})] - 142.71(\text{g})}{100 \text{ mL}}$$

$$\text{DAS} = 0.459 \text{ g/mL}$$

- *Densidad Aparente de almidón empacado*

$$\frac{[(\text{peso probeta} + \text{empacado})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía}(\text{g})}{\text{Volumen de muestra empacada (mL)}}$$

$$\frac{[(188.61)(\text{g})] - 142.71(\text{g})}{75.5 \text{ mL}}$$

$$\text{DAE} = 0.608 \text{ g/mL}$$

Discusión:

Los valores de referencia que utiliza la (FAO) es una densidad promedio de 1.506 g/ mL, tomando en cuenta que es un valor referido específicamente al almidón de yuca, por consiguiente, el valor referenciado para el almidón de maíz es distinto ya que cada almidón tiene un determinado comportamiento.

3.2.5 Determinación de la viscosidad del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)

Tabla 11-3: Datos para determinar la viscosidad para el almidón de maíz morado

Almidón (g)	Volumen de agua (mL)	Viscosidad
25	500	298.7

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021

Discusión:

La viscosidad para el almidón de maíz morado fue de 298.7 SPL1 mPa.S a 10.0RPM 98.8%.

De acuerdo con la normativa (ASTM D-883), la adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad en estado fundido, se usó un tipo de plastificante como el glicerol, y un gelificante como el CMC, que incrementa la viscosidad. Además, posee características de viscosidad relativamente alta debido al contenido representativo de amilosa en el almidón de maíz morado (26.09%), (Hernandez, 2018 pág. 12)

(Johanna Aristizábal, 2007), indica que, para geles de yuca con una concentración del cinco por ciento, a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM, varía entre 840 -1 500 mPa.S. El contenido de amilosa en la yuca es superior al contenido de amilosa en el maíz, es por ello por lo que, la viscosidad varía en comparación de uno con otro, valores altos de contenido de amilosa favorecen a una mayor viscosidad.

3.2.6 Determinación del pH del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)

Tabla 12-3: Datos para determinar el pH para el almidón de maíz morado

Determinación de pH		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
5.886	5.846	5.858
Promedio: 5.863		

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021

Discusión:

El valor de pH es una buena medida del grado de fermentación del almidón, el promedio de los tres ensayos realizados para la determinación del pH fue de 5.863, cuando el pH disminuye a 4, se dice que sucede una fermentación ácida, cuando el pH es mayor a 4 existe un crecimiento de hongos, lo cual libera amoniaco e incrementa dicho valor. El valor de referencia del pH en un almidón nativo debe estar entre 6.0-6.5. (Johanna Aristizábal, 2007)

La relación estrecha entre las antocianinas y el pH, al ser las antocianinas pigmentos hidrosolubles que otorgan el color al fruto, flores y hojas, determina que, si el pH es bajo, los pigmentos son rojos, así la pelargonidina (antocianidina, un tipo de pigmento vegetal), es rojo naranja en solución ácida. A un pH alto las antocianinas pasan a través de un color violeta hasta alcanzar un color azul, como en este caso el pH fue igual a 5.863, se considera como un pH relativamente alto, ya que el color del almidón es violeta claro casi rosa. (Pinedo Taco, y otros, 2017)

3.2.7 Determinación de la temperatura de gelatinización del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)

Tabla 13-3: Datos para determinar la temperatura de gelatinización del almidón de maíz morado

Temperatura de gelatinización		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
70.72	70.801	70.326

Promedio: 70.615

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021

Discusión:

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas elevadas alcanzan una temperatura específica a la cual comienza el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es conocida como temperatura de gelatinización, según (Moposita, y otros, 2020 pág. 4), la temperatura de gelatinización para el almidón de maíz amarillo (determinada por calorimetría diferencial de barrido) estuvo entre 73.4-77.1 °C

Las temperaturas promedio de gelatinización del almidón de maíz oscilan entre 67 °C – 68, aunque también se han reportado valores superiores a (71,9 °C - 78,8 °C) (Dong, y otros, 2008 págs. 305-314), sugirió que elevadas temperaturas de gelatinización de almidón de maíz podrían deberse a una mayor cantidad de cadenas más largas de las moléculas de amilopectina. Estas cadenas podrían formar dobles hélices de mayor longitud (no necesariamente en forma de cristales) y requieren temperatura superior para disociarse completamente en comparación a estructuras de dobles hélices más cortas. (Omar Perez; y otros , 2018). ; la temperatura de gelificación es directamente proporcional al porcentaje de almidón de maíz morado presente en la formulación, a medida que este porcentaje aumenta, la temperatura de gelificación también incrementa.

3.2.8 Rendimiento de la extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L.*)

Tabla 14-3: Rendimiento de tratamientos formulación de almidón de maíz morado (*Zea Mays L.*)

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (mL)	PESO (g)		TIEMPO DE REPOSO	TIEMPO DE SECADO	RENDIMIENTO (%)	PROMEDIO (%)
					PRODUCTO	ALMIDÓN				
1	T1	R BAJA: 45	R1	500	200	12	28	47.83	23.915	20.1775
2			R2					38.83	19.415	
3			R3					37.63	18.815	
4			R4					37.13	18.565	
5	T2	R ALTA: 45	R1					56.23	28.115	
6			R1					119.33	59.665	29.7525
7			R3					26.53	13.265	
8			R4					35.93	17.965	
9	T3	R BAJA: 60	R1					241.73	120.865	
10			R2					137.68	68.84	72.67125
11			R3					47.43	23.715	
12			R4					154.53	77.265	
13	T4	R ALTA: 60	R1					231.23	115.615	
14			R2					128.43	64.215	54.64
15			R3					39.63	19.815	
16			R4					37.83	18.915	

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tabla 15-3: Análisis de varianza de los tratamientos obtenidos de la extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*).

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	7179.819558	2	3589.909779	5.8448543	0.016893871	3.885293835
Columnas	5356.987535	1	5356.987535	8.72189374	0.012070317	4.747225347
Interacción	2256.668819	2	1128.33441	1.83707966	0.201364049	3.885293835
Dentro del grupo	7370.40055	12	614.2000458			
Total	22163.87646	17				

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Interpretación:

Dentro de los cuatro tratamientos realizados para la extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), los cuales fueron elaborados en base al modelo estadístico 2^2 , con los dos factores; tiempo (45 y 60 segundos) y RPM (alta y baja), para el tratamiento 1 se obtuvo un rendimiento mínimo de (20.177%), T2 (29.752%), T3 (72.6712%) y T4 un porcentaje igual a (54.640%). Teniendo como base los porcentajes de rendimiento de la extracción de almidón se realiza un análisis de varianza correspondiente al paquete estadístico ANOVA, un (DCA) diseño experimental completamente aleatorizado y la hoja de cálculo Microsoft Excel 2010.

Discusión:

Con un breve análisis se determina que el mejor tratamiento para la extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) a escala de laboratorio, es el tratamiento 3 con un porcentaje igual a 72.671%, correspondiente a las variables tiempo: 60 segundos, RPM: baja, tomando en cuenta este valor con el reportado por (Avellán, y otros, 2019) 5.72% y por Tovar (2008) (29,76% a 41,03%), fue superior, dichas investigaciones emplearon diferentes métodos de extracción de almidón. Esta gran variación entre las investigaciones realizadas por Avellán, Tovar y la presente, pudo darse por las diferencias entre los procedimientos usados, pues en la investigación realizada por Tovar se realizaron varios lavados adicionales a esto las muestras fueron centrifugadas, en el caso de (Avellán, y otros, 2019) el método de extracción fue por vía húmeda mientras que el método de extracción utilizado para el almidón de maíz morado fue por vía seca.

Sin embargo, al realizar el análisis de varianza en la presente investigación para los cuatro tratamientos, el punto entre la interacción y la probabilidad resulta ser igual a 0.20136, lo cual nos indica que al ser mayor el punto a 0.05 ($p > 0.05$) no existe diferencia significativa, por lo que se deduce como apropiado trabajar con cualquiera de los 4 tratamientos planteados.

3.2.9 Elaboración del bioplástico a partir de las formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2^2

Tabla 16-3: Variables para la producción de biopelículas.

CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO		CONCENTRACIÓN DE CARBOXIMETILCELULOSA	
ALTA	BAJA	ALTA	BAJA

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tabla 17-3: Esquema de la producción de biopolímeros.

No	CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO	CONCENTRACIÓN DE CARBOXIMETILCELULOSA
1	ALTA	ALTA
2		
3		
1	ALTA	BAJA
2		
3		
1	BAJA	ALTA
2		
3		
1	BAJA	BAJA
2		
3		

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

3.2.10 Formulaciones

Acotando las investigaciones realizadas por (García, 2015) para la formulación de bioplásticos, como referencia, se tiene a continuación las formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2^2 .

Tabla 18-3: Formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2^2

Formulación	Porcentaje Peso a Peso				
	Almidón	Agua	Á. acético	Glicerina	CMC
1	3.5	40	7	0.5	3.5
2	3.5	40	7	5	1
3	2	40	7	0.5	3.5
4	2	40	7	0.5	1

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021

Se elaboró 4 tipo de formulaciones, donde se consideró como variables a la cantidad de almidón y la cantidad añadida de CMC, ya que éstos son la base principal del bioplástico y también contribuyen con la elasticidad y firmeza del bioplástico resultante, respecto a la cantidad de agua purificada, ácido acético y glicerina fueron factores que se tomaron de las referencias previamente citadas. En la Tabla 19-3, se expone el esquema del diseño experimental para el bioplástico, en el que se consideraron tres ensayos para cada formulación dando un total de 12 experimentos.

Tabla 19-3: Esquema del diseño experimental para la biopelícula

Formulaciones											
F1			F2			F3			F4		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021

Leyenda:

F1, F2, F3, F4 = Formulaciones

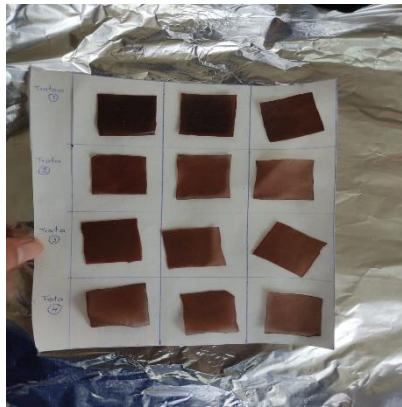
R= Repeticiones

3.3 Caracterización del bioplástico, determinación de parámetros físicos: espesor, humedad, permeabilidad, solubilidad, biodegradabilidad y parámetros mecánicos: ensayo de resistencia a la tracción.

3.3.1 Análisis de Humedad de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado (*Zea Mays* L).

Fotografía 11-2. Prueba de solubilidad

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021



Fotografía 12-2. Tratamientos posteriores a la estufa

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021



3.3.1-1 Cálculos para determinar el contenido de humedad en la biopelícula

$$SS(\%) = \{(m_2 - m)/(m_1 - m)\} \times 100 \quad [3]$$

En donde:

SS= sustancia seca en porcentaje en masa.

m= masa de la cápsula en g.

m₁= masa de la cápsula con la muestra en g.

m₂= masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g.

Tratamiento 1:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - SS(\%) \quad [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - \{(105,239 - 104,579)/(105,6 - 104,579)\} \times 100$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - (64,64)$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 35,357$$

Tratamiento 2:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - \text{SS}(\%) [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - \{(101,794 - 101,110)/(102,15 - 101,110)\} \times 100$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - (65,769)$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 34,230$$

Tratamiento 3:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - \text{SS}(\%) [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - \{(110,869 - 110,298)/(111,343 - 110,298)\} \times 100$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - (54,641)$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 45,358$$

Tratamiento 4:

$$\% \text{HUMEDAD} = 100 - \text{SS}(\%) [2]$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - \{(100,411 - 99,607)/(100,652 - 99,607)\} \times 100$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - (76,937)$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 23,062$$

Tabla 20-3: Análisis de humedad de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado (*Zea Mays L*).

	Grupo	N	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Variable de medición de humedad	T1	3	33.451	1.905	31.746	35.357
	T2	3	32.412	1.818	28.92	34.23
	T3	3	35.541	9.816	30.27	45.358
	T4	3	25.261	-2.199	23.062	29.041

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Interpretación:

Los datos para el tratamiento T1, el promedio de la media fue de 33.451%, (\pm) el valor de la desviación estándar 1.905%, su humedad mínima fue de 31.746%, para el tratamiento T2, se obtuvo un promedio de media de 32.412%, (\pm) 0,1818 de su desviación estándar, su humedad mínima alcanzó 28.92%. El tratamiento T3, reflejó un porcentaje en su media de 35.541%, (\pm) el valor de la

desviación estándar es de 9.816 y una humedad mínima de 30.27%. Para el tratamiento T4, se evidenció una media de 25.261%, (\pm) el valor de la desviación estándar 2.199, su humedad mínima alcanzó un porcentaje de 23.062%.

Decisión:

Como se detalla en la tabla 3-3, de las biopelículas elaboradas a partir del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*), se demostró que la humedad mínima es de 25.261 y fue encontrado en el tratamiento T4, siendo este, un porcentaje óptimo para ser usado para empaquetamiento, por tanto a menor humedad se puede prevenir y evitar la proliferación de hongos y levaduras, evitando de esta manera la descomposición del alimento, obteniendo datos similares a los de (Ocaña Vilema, 2020 págs. 46-47)

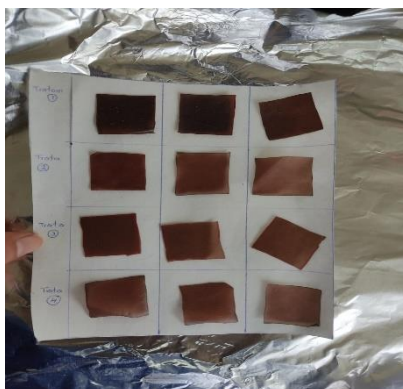
3.3.2. Prueba de solubilidad de la biopelícula

La prueba de solubilidad consiste en evaluar el comportamiento de la biopelícula en presencia de agua, los resultados que se evidencien ayudarán a determinar su uso; es decir los recubrimientos con un porcentaje bajo de solubilidad es apto para limitar la exudación de alimentos durante su almacenado, y el comportamiento que puede tener cuando entra en contacto con ambientes húmedos. (Petrikoski, 2013)

La prueba de solubilidad en agua constó en realizar biopelículas por triplicado para las cuatro formulaciones, es decir tres muestras de 4x4 cm de cada tratamiento (12 en total), luego de 72 horas a 35 °C se desmoldaron y recortaron rectángulos de 4x4 cm aproximadamente y se colocaron en un desecador por 24 horas.

Fotografía 13-2. Prueba de solubilidad

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021



Posterior a esto se pesaron y se colocaron en un vaso de plástico con tapa con 50 ml de agua destilada y agitación constante en un mini shaker por una hora a temperatura ambiente. Una vez cumplida la hora se filtró y se colocó en la estufa a 60 °C hasta llegar a un peso constante.

Fotografía 14-2. Agitación de muestras

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Para determinar la materia seca no soluble en agua, se restó el peso final del peso de materia seca inicial, de esta manera se obtuvo el peso de materia seca que se solubilizó en agua durante una hora y finalmente se expresó como un porcentaje de la materia seca inicial.

Fotografía 15-2. Secado de muestra

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Tabla 21-3: Datos del análisis de solubilidad de la biopelícula de almidón de maíz morado.

Tratamientos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
T1	0.283	0.292	0.271
	0.18	0.182	0.164
	0.178	0.123	0.163
	0.175	0.123	0.161
T2	0.269	0.181	0.195
	0.16	0.132	0.14
	0.159	0.131	0.138
	0.156	0.131	0.138
T3	0.261	0.191	0.214
	0.163	0.137	0.141
	0.158	0.135	0.14
	0.158	0.134	0.14
T4	0.182	0.159	0.14
	0.124	0.115	0.11
	0.121	0.114	0.108
	0.121	0.114	0.108

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

3.3.2-1 Cálculos para determinar la solubilidad de las biopelículas

Con los datos de la tabla 4-3 se usó la ecuación 3 para calcular el porcentaje de solubilidad para cada tratamiento.

$$\text{Solubilidad (\%)} = (1 - (\text{PI}-\text{PF}/\text{PI})) \times 100 \quad [3]$$

Dónde:

PI: es el peso inicial del bioplástico

PF: es el peso final del material seco.

Tratamiento 1:

$$\text{Solubilidad (\%)} = (1 - \left(\frac{\text{PI}-\text{PF}}{\text{PI}}\right)) \times 100 \quad [3]$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = (1 - \left(\frac{0.283-0.175}{0.283}\right)) \times 100 \quad [3]$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = 61.830\%$$

Tratamiento 2:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(1 - \left(\frac{\text{PI}-\text{PF}}{\text{PI}}\right)\right) \times 100 \text{ [3]}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(1 - (0.269 - 0.156) \left(\frac{0.269 - 0.156}{0.269}\right)\right) \times 100 \text{ [3]}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = 57.991\%$$

Tratamiento 3:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(1 - \left(\frac{\text{PI}-\text{PF}}{\text{PI}}\right)\right) \times 100 \text{ [3]}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(1 - \left(\frac{0.261 - 0.158}{0.261}\right)\right) \times 100 \text{ [3]}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = 60.536\%$$

Tratamiento 4:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(1 - \left(\frac{\text{PI}-\text{PF}}{\text{PI}}\right)\right) \times 100 \text{ [3]}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(1 - \left(\frac{0.182 - 0.121}{0.182}\right)\right) \times 100 \text{ [3]}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = 66.483\%$$

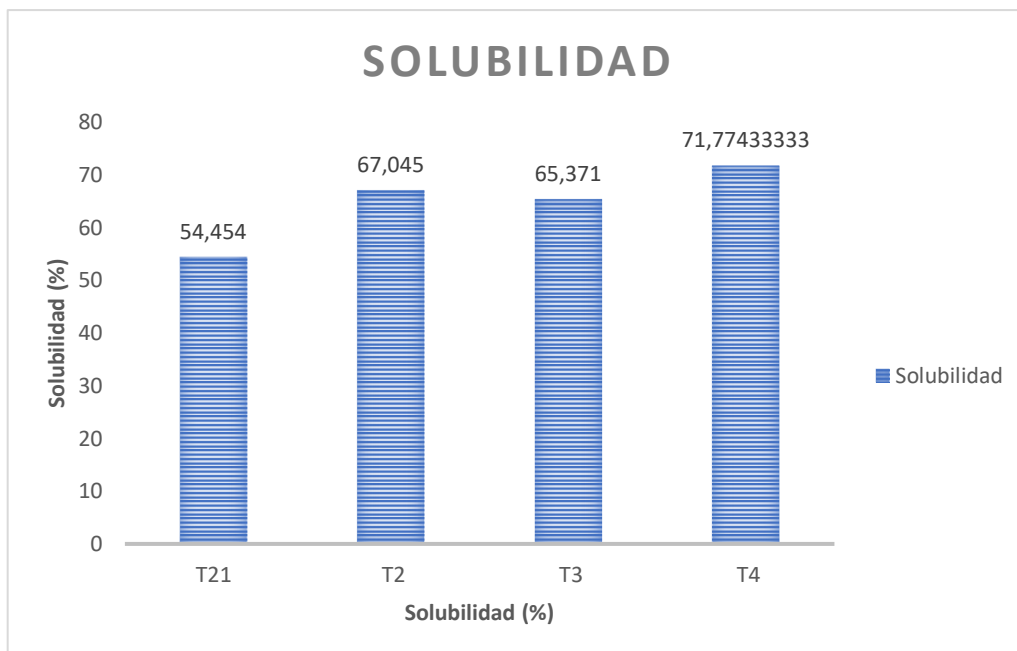
Tabla 22-3: Media de porcentaje de solubilidad de la biopelícula de almidón de maíz morado.

Ensayos	T1	T2	T3	T4
Ensayo 1	61.830	57.991	60.536	66.483
Ensayo 2	42.123	72.375	70.157	71.698
Ensayo 3	59.409	70.769	65.420	77.142
Promedio	54.454	67.045	65.371	71.773

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Gráfico 1-2. Gráfico de valores de % de solubilidad en agua para cada tratamiento.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.



Interpretación:

Los valores promedio de solubilidad en agua, se presenta en la figura 1-3. Se observa, el porcentaje de materia soluble en agua. Los porcentajes reflejados en orden descendente son: T4 con (71.774%), seguido por el T2 con un porcentaje (67.045), luego tenemos al tratamiento T3 con (65.371%), finalmente para el tratamiento T4 se obtuvo un porcentaje mínimo de (54.454%).

Discusión:

Según la aplicación de la presente investigación, un porcentaje menor de solubilidad presentaría una ventaja por la baja temperatura y humedad relativa de almacenamiento de la fruta recubierta; el porcentaje de materia soluble en agua, aumenta a mayores valores porcentaje de carboximetilcelulosa (CMC), como es el caso de los tratamientos T4 y T2 mientras que los tratamientos T1 y T3 que contienen menor porcentaje de glicerol en su formulación presentan un menor porcentaje de solubilidad en agua, por lo tanto tienen un comportamiento aceptable como recubrimiento en frutas almacenadas en refrigeración.

3.3.3 Evaluación de pH de los bioplásticos a base de maíz morado (*Zea Mays L.*)

Tabla 23-3: Datos de pH para los tratamientos de bioplástico

pH Tratamientos	
T1	6.10

T2	6.01
T3	6.50
T4	6.66

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Interpretación:

En los cuatro tratamientos combinados con almidón de maíz morado, glicerina, CMC, agua y ácido acético, presentaron un pH superior al 6 y inferior al 7, los datos obtenidos serán descritos en forma ascendente: (6.01) T2, (6.10) T1, (6.50) T3, (6.66) T4.

Discusión:

Según el método descrito por la AOAC (Asociación Oficial de Químicos Analíticos), se obtuvieron tratamientos de bioplásticos con un pH de: T1 (6.19), T2 (6.19), T3 (6.25), T4(6.15), T5 (6.17) y T6 (6.16), demostrando ser ácidos, por lo cual les permite inhibir la proliferación bacteriana y microbiológica, característica que permite darles la utilidad de material de embalaje, de alimentos o productos. La acidez que presentó el T4 (6.66) se encuentra en un nivel de escala de pH ácido, se debe a que el almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) se encuentra en un pH ligeramente ácido (5.846-5.886) y las sustancias utilizadas como la glicerina (pH 6.5) y el CMC (pH 6) se encuentran en un pH alcalino. Según, Lina, N (2018) mostró un pH 7 en sus biopelículas, de acuerdo con lo establecido en la normativa (NTE INEN 526), los datos obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro del parámetro establecido debido a que no supera el valor de 7 que rige la norma. (Ocaña Vilema, 2020 pág. 45)

3.3.4. Prueba de permeabilidad al vapor de agua

La prueba usada para la medición de la permeabilidad al vapor de agua se realizó en cada biopelícula con la finalidad de identificar las formulaciones que presentarán menor o mayor permeabilidad a la vez examinar si al recubrir este bioplástico en fresas, tendrán o no algún resultado adverso en la calidad de las fresas como: deshidratación superficial en un lapso de tiempo determinado. La prueba consiste en usar biopelículas de muestra, de espesor conocido, con un área de $3 \times 3 \text{ cm}^2$, y un diámetro de 3 cm, usándolos como cubierta o tapa de un tubo de ensayo, contenido de sílica como desecante, después se colocan los tubos de muestra en una atmósfera controlada, es decir un desecador de vidrio.

Fotografía 16-2. Prueba de permeabilidad

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Las condiciones de humedad relativa y temperatura a las que se operaron fueron 25°C aproximadamente, temperatura promedio en la Sierra centro en la ciudad de Riobamba, la humedad relativa se consiguió colocando en el fondo del desecador 2,000 mL de solución salina sobresaturada. La prueba de permeabilidad al vapor de agua se realizó por triplicado a los cuatro tratamientos, con la finalidad de conocer los valores de transferencia de vapor de agua a través del material permeable (bioplástico). Las pruebas fueron pesadas cada hora durante un lapso de seis horas, hasta alcanzar el peso límite, el cual equivale al 10% del peso inicial del desecante; se evidenciarán los aumentos de peso mismos que se representarán gráficamente como una función de tiempo, utilizando regresión lineal, donde se presentan las mediciones de peso de los 12 ensayos de prueba a través del tiempo.

Fotografía 17.2 Pesado de los ensayos de prueba

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Tabla 24-3: Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 1)

Permeabilidad al vapor de agua				
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
	32.623	32.027	32.603	
				<i>1 hora</i>

T1	32.682	32.088	32.652	2 hora
	32.720	32.127	32.705	3 hora
	32.720	32.127	32.706	4 hora
	32.721	32.123	32.709	5 hora
	32.724	32.131	32.709	6 hora

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Tabla 25-3: Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 2)

	Permeabilidad al vapor de agua			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
T2	34.639	33.550	32.664	1 hora
	34.723	33.638	32.774	2 hora
	34.789	33.730	32.777	3 hora
	34.791	33.734	32.777	4 hora
	34.793	33.735	32.777	5 hora
	34.799	33.735	32.779	6 hora

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Tabla 26-3: Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 3)

	Permeabilidad al vapor de agua			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
T3	32.101	31.650	32.231	1 hora
	32.105	31.687	32.254	2 hora
	32.192	31.757	32.330	3 hora
	32.193	31.772	32.326	4 hora
	32.196	31.758	32.338	5 hora
	32.196	31.764	32.396	6 hora

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Tabla 27-3: Aumento de peso en las unidades de prueba en la determinación de permeabilidad al vapor de agua. (Tratamiento 4)

Permeabilidad al vapor de agua				
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
T4	33.424	32.484	32.291	1 hora
	33.554	32.502	32.345	2 hora
	33.563	32.540	32.410	3 hora
	33.563	32.543	32.415	4 hora
	33.585	32.546	32.420	5 hora
	33.595	32.548	32.427	6 hora

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

3.3.4-1 Cálculos para determinar la permeabilidad de las biopelículas

El flujo de permeabilidad al vapor de agua (Fva) se calculó según la ecuación 1.

$$Fva = g / tA [3]$$

Dónde:

g: es la pérdida de peso

t: el tiempo total en horas

A: es el área de permeabilidad.

Tratamiento 1:

$$Fva = g / tA [3]$$

$$Fva = (32.494 \text{ g}) / (6h) \times (9m^2)$$

$$Fva = 0.6017 \text{ g/h. m}^2$$

Tratamiento 2:

$$Fva = g / tA [3]$$

$$Fva = (33.733 \text{ g}) / (6h) \times (9m^2)$$

$$Fva = 0.624 \text{ g/h. m}^2$$

Tratamiento 3

$$Fva = g / tA [3]$$

$$Fva = (32.069 \text{ g}) / (6h) \times (9m^2)$$

$$Fva = 0.593 \text{ g/h. m}^2$$

Tratamiento 4:

$$F_{va} = g / tA \quad [3]$$

$$F_{va} = (32.819g) / (6h) \times (9m^2)$$

$$F_{va} = 0.607 \text{ g/h. m}^2$$

La permeabilidad al vapor de agua (P_{va}) se calculó a partir de la ecuación 2.

$$P_{va} = (F_{va}) \times (X \Delta P) \quad [2]$$

Donde:

X: media del espesor del bioplástico

ΔP : la diferencia de presión de vapor del medio ambiente que contiene el desecador

Tratamiento 1:

$$P_{va} = (F_{va}) \times (X \Delta P) \quad [2]$$

$$P_{va} = (0.6017 \text{ g/h. m}^2) * (0.136 \text{ mm}) * (3.167 \text{ kPa})$$

$$P_{va} = 0.25 \text{ g.mm/h. m}^2 \text{ .kPa}$$

Tratamiento 2:

$$P_{va} = (F_{va}) \times (X \Delta P) \quad [2]$$

$$P_{va} = (0.624 \text{ g/h. m}^2) * (0.072 \text{ mm}) * (3.167 \text{ kPa})$$

$$P_{va} = 0.142 \text{ g.mm/h. m}^2 \text{ .kPa}$$

Tratamiento 3:

$$P_{va} = (F_{va}) \times (X \Delta P) \quad [2]$$

$$P_{va} = (0.593 \text{ g/h. m}^2) * (0.109 \text{ mm}) * (3.167 \text{ kPa})$$

$$P_{va} = 0.204 \text{ g.mm/h. m}^2 \text{ .kPa}$$

Tratamiento 4:

$$P_{va} = (F_{va}) \times (X \Delta P) \quad [2]$$

$$P_{va} = (0.607 \text{ g/h. m}^2) * (0.109 \text{ mm}) * (3.167 \text{ kPa})$$

$$P_{va} = 0.209 \text{ g.mm/h. m}^2 \text{ .kPa}$$

Tabla 28-3: Resultados del análisis de permeabilidad al vapor de agua

Permeabilidad al vapor de agua	
Tratamientos	Pva (g. mm/h. m².kPa)
Tratamiento 1	0.250
Tratamiento 2	0.142
Tratamiento 3	0.204
Tratamiento 4	0.209

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Interpretación:

En la tabla 8-3 se presentan los resultados del análisis de permeabilidad al vapor de agua (Pva), donde se obtuvieron valores desde 0.142 hasta 0.250 g. mm/h. m².kPa

Para el tratamiento T1 el valor de Pva fue de 0.250 g. mm/h. m².kPa (valor más alto), para el tratamiento T2 un valor de 0.142 g. mm/h. m².kPa (valor más bajo), para los tratamientos T3 y T4 un promedio de valores entre 0.204 y 0.209 respectivamente.

Discusión:

Para calcular el valor de la permeabilidad al vapor de agua (Pva) de biopelículas, contó de tres etapas, la primera se define en el coeficiente de difusión donde el agua es absorbida, la segunda hace referencia a la presión de vapor del medioambiente que contiene el desecador (0 kPa, 25 °C) y el agua pura (3.167 kPa a 25 °C), en donde influye principalmente el grosor y el área de la biopelícula, la tercera fase o etapa es el fenómeno de desorción, donde el área de la lámina presenta la menor humedad relativa interna. Para las biopelículas se obtuvieron grosores entre 0.072 y 0.136 mm (Tabla 10-3).

Es muy importante resaltar la relación entre el grosor o espesor con el flujo de permeabilidad, ya que el grosor se ha modificado cuando se utiliza plastificantes.

La permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas se incrementó con la adición del plastificante, sorbitol, ya que este es un alcohol con varios grupos funcionales, lo cual implica un grado mayor de reacción con la cadena polimérica debido a su poder reductor de enlaces de hidrógeno, los cuales reducen las fuerzas intermoleculares, modificando así la estructura de la red polimérica lo cual permite el libre paso de agua, generando el fenómeno de adsorción. (Gontard, y otros, 1993 págs. 206-211). Es decir, a mayor grosor, se evidenció un aumento en el índice de permeabilidad, por ende, disminuyó la barrera para el paso de agua.

La adición de sobitol a las biopelículas de almidón de maíz morado modifica características físicas por tanto los índices de permeabilidad al vapor de agua. (Trejo, y otros, 2001 págs. 2-3).

En la presente investigación, como plastificante se añadió glicerol (alcohol), que con sus tres grupos hidroxilo, influyó en el grosor o espesor de cada tratamiento analizado, por ello para el tratamiento T1 se tiene un espesor de 0.136, para el tratamiento T2 un espesor de 0.072, para el tratamiento T3 y T4 el mismo grosor de 0.109, pues bien en cuanto a la permeabilidad de vapor calculada para los tratamientos se tiene para el tratamiento T1 0.250, tratamiento T2 0.142, para el tratamiento T3 0.204, y para el tratamiento T4 un Pva igual a 0.209. Los datos obtenidos ayudan a comprobar que lo mencionado por (Trejo, y otros, 2001 págs. 2-3) “a mayor grosor, se evidenció un aumento en el índice de permeabilidad, por ende, disminuyó la barrera para el paso de agua”, es compatible esta investigación.

3.3.5 Resistencia al agua de las biopelículas de almidón de maíz morado

Tabla 29-3: Análisis resistencia al agua de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado (*Zea Mays L.*).

	Grupo	N	Media (h)	Desviación	Mín (h)	Máx (h)	Condición
Variable a la resistencia al agua	T1	3	0.12	0.01	0.11	0.13	Irrompible
	T2	3	0.21	0.10	0.15	0.33	Irrompible
	T3	3	0.21	0.05	0.15	0.25	Irrompible
	T4	3	11.67	10.67	5.00	24.00	Irrompible
	Este proceso se determinó en un lapso de 72 semanas a los 4 tratamientos y tomando en cuenta la prueba de la primera gota.						

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Interpretación:

Mediante los datos obtenidos se pudo analizar que dentro del tratamiento T1, el promedio de porcentaje de resistencia al agua fue de 0.12 horas, (\pm) la desviación estándar 0.01, presentó un tiempo máximo de 0,13 horas, no presentó ninguna ruptura al caer la primera gota. Para el tratamiento T2, el promedio de porcentaje fue de 0,21 horas, (\pm) 0,10 la desviación estándar, y su tiempo máximo logró alcanzar las 0,33 horas tampoco presentó ninguna ruptura al caer la primera gota. Al observar y analizar el tratamiento T3, un promedio de porcentaje en su media fue de 0.21 horas, (\pm) el valor de la desviación estándar 0.05, un tiempo máximo de 0.25 horas tampoco presentó ninguna ruptura al caer la primera gota. Finalmente, para el tratamiento T4, la media fue de 11.67 horas, (\pm) 10.67 de desviación estándar y evidentemente un tiempo máximo de 24 horas, la principal característica fue no presentar ruptura al caer la primera gota.

Discusión:

Luego de analizar la tabla 8-3 sobre el análisis de resistencia al agua para la biopelícula elaborada a base de almidón de maíz morado, donde se encontró que el tratamiento t4 obtuvo el valor máximo, debido a que obtuvo una mínima medición de tiempo y sobrepasó las 24 horas, en conclusión no hubo absorción de agua hacia la superficie, por tanto la biopelícula no presentó ruptura de ningún tipo, convirtiendo así las biopelículas en aptas para el procedimiento de permeabilidad y solubilidad, como lo establece (Blanco, 2013 págs. 35-36).

3.3.6 Análisis mecánico

Los datos obtenidos de espesor en los 4 tratamientos se obtuvieron mediante un medidor de espesor digital (micrómetro), con (± 0.01 mm de error) de manera aleatoria con 10 puntos, se realizó un análisis exploratorio para obtener la media, desviación estándar, máximo y mínimo.

Tabla 30-3: Análisis de Espesor (milímetros) de las biopelículas de almidón de maíz morado

Variable de medición	Grupo	N	Media (mm)	Desviación estándar	Min (mm)	Máx (mm)
Espesor	T1	10	0.158	0.008	0.1	0.2
	T2	10	0.163	0.013	0	0.2
	T3	10	0.200	0.002	0.1	0.23
	T4	10	0.155	0.044	0.1	0.2

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

Fotografía 18-2. Pesado de los ensayos de prueba

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Interpretación:

Se demostró que en el tratamiento T1, el valor para la media de espesor fue de 0.136 mm, (\pm) el valor de la desviación estándar 0.036, su grosor máximo alcanzó 0.20 milímetros.

En cuanto al tratamiento T2, el promedio fue igual a 0.072, (\pm) 0.027 de su desviación estándar, y un grosor máximo igual a 0.1 milímetros. Para el tratamiento T3, arrojó un porcentaje en su media de 0.109, (\pm) el valor de la desviación estándar igual a 0.009, su grosor máximo fue de 0.20 milímetros. Por último, al tratamiento T4, el promedio de porcentaje fue de 0.109, (\pm) el valor de la desviación estándar 0.009, y el grosor máximo igual a 0.20 milímetros.

Discusión:

En la tabla 9-3 se analizaron datos ya su vez se verificó el espesor de las biopelículas elaboradas a base de maíz morado, obteniendo el valor máximo en los tres tratamientos T1, T2, T3, y el tratamiento T4 con el grosor mínimo, se considera más delgada para fácil manipulación y doblaje. Siendo la óptima la muestra de composiciones de glicerina 2.5 y 12.5% de CMC; (Charro, 2015 pág. 67). Sin embargo, los cuatro tratamientos se encuentran dentro del rango de aceptabilidad, debido a que cumplen con los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 2542 (2010) de láminas plásticas como requisitos específicos dentro del rango de tolerancia del espesor debe ser ± 0.2 milímetros y INEN 891 (2011), cumpliendo así la tolerancia de 0.7 ± 0.02 .

Es preciso especificar que el espesor es una propiedad importante para envolturas y empaques biodegradables, ya que mientras mayor sea el espesor menor será la afectación de propiedades de barrera. (Ocaña Vilema, 2020 pág. 46)

3.3.7. Ensayos de propiedades mecánicas

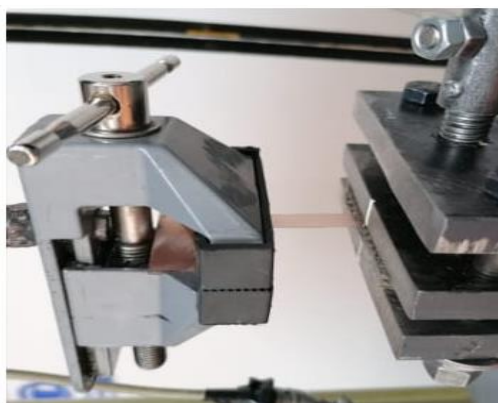
Determinar las propiedades mecánicas de un material es fundamental para la elección del mismo en base a su comportamiento.

3.3.7-1 Tracción

La prueba de tracción consiste en la aplicación de esfuerzo en la misma dirección que el eje longitudinal de las probetas. La norma utilizada es la NTEINE N 2635, y la máquina utilizada se describe como: MÁQUINA UNIVERSA DE ENSAYOS - WAW600, todos los ensayos de tracción realizados en la máquina universal de ensayos se tiene ensayos como: espesor, anchura, longitud inicial, sección transversal, modelo de elasticidad, carga de fluencia, carga máxima, esfuerzo máximo, porcentaje de elongación, estas pruebas mecánicas fueron realizadas en el Laboratorio ensayo de materiales LenMav, ubicado en la ciudad de Riobamba y dirigido por el Msc Anibal Viñán.

Fotografía 19-2. Prueba de Tracción

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Fotografía 20-2. Probetas

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021



Ensayo de tracción TRATAMIENTO 1

Tabla 31-3: Análisis de ensayos de tracción de la biopelícula de almidón de maíz morado tratamiento 1 y 2.

ENSAYOS	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2
Tipo de Material	Biopelícula- almidón de maíz morado.	Biopelícula- almidón de maíz morado
Material	Lámina de plástico	Lámina de plástico
Norma utilizada	NTE- INEN 2635-012	NTE- INEN 2635-012

Característica	café transparente	Café transparente
Espesor (mm)	0,16	0,16
Anchura (mm)	9,67	10,20
Longitud inicial (mm)	25,00	25,00
Sección transversal (mm ²)	1,55	1,63
Módulo de elasticidad (MPa)	1,246 E+00	1.686 E+01
Carga de fluencia (N)	1,62	3,33
Esfuerzo de fluencia (MPa)	1,05	2,04
Carga Máxima (N)	1,73	3,94
Esfuerzo máximo (MPa)	1,12	2,42
Porcentaje de elongación	114,78	99,52

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tabla 32-3: Análisis de ensayos de tracción de la biopelícula de almidón de maíz morado tratamiento 3 y 4.

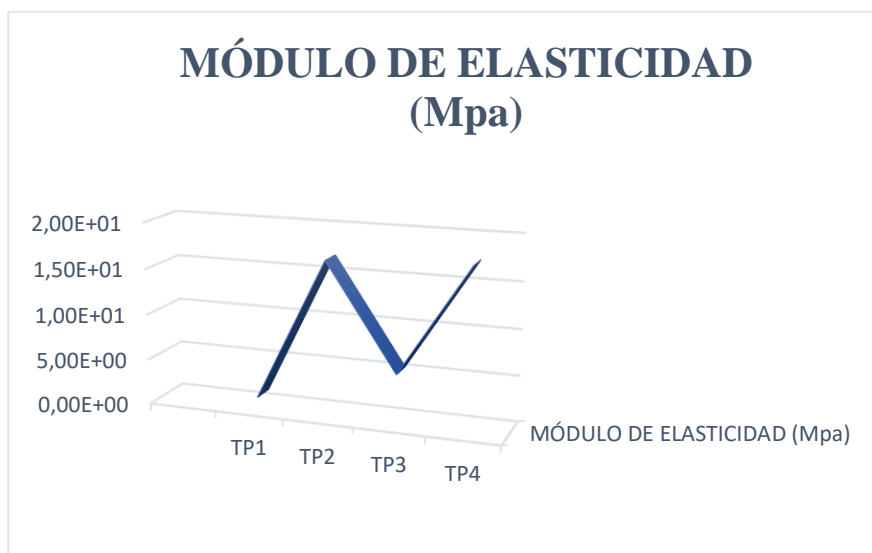
ENSAYOS	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4
Tipo de Material	Biopelícula- almidón de maíz morado.	Biopelícula- almidón de maíz morado
Material	Lámina de plástico	Lámina de plástico
Norma utilizada	NTE- INEN 2635-012	NTE- INEN 2635-012
Característica	café transparente	Café transparente
Espesor (mm)	0,2	0,08
Anchura (mm)	9,74	9,77
Longitud inicial (mm)	25,00	25,00
Sección transversal (mm ²)	1,95	0,78
Módulo de elasticidad (MPa)	5,443 E+00	1,747 E+01
Carga de fluencia (N)	15,97	2,34

Esfuerzo de fluencia (MPa)	8,20	3,00
Carga Máxima (N)	18,51	2,72
Esfuerzo máximo (MPa)	9,50	3,48
Porcentaje de elongación	98,18	56,47

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Gráfico 2-2. Módulo de elasticidad T1, T2, T3 y T4

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.



Discusión: la concentración de los plastificantes influye de forma directa en las propiedades de las biopelículas motivo por el cual no permite que; si una película presenta condiciones óptimas de permeabilidad también lo haga en los valores del ensayo de tracción o de otros ensayos de caracterización de las biopelículas.

3.3.8. Evaluación de Biodegradabilidad

La evaluación de biodegradabilidad de las biopelículas, para evaluar el grado de la desintegración física de las biopelículas en un tiempo determinado. La evaluación consistió en introducir tierra de un terreno en tarrinas de plástico, anterior a esto se cortaron biopelículas en piezas de 3 x 3 cm², mismas que fueron colocadas en el interior de las tarrinas con la tierra, de tal manera que quedaron cubiertas de tierra por completo, enterradas a una profundidad de aproximadamente 10 cm, esto en cuanto a degradabilidad en suelo.

Para la biodegradabilidad en aire se recortó trozos de bioplástico de 3 x 3cm², y se colocaron los mismos en un recipiente de plástico, esto se realizó por triplicado para cada tratamiento, y se tomó en cuenta una temperatura ambiente de la zona, a la intemperie.

Ahora bien, se tomó en cuenta la biodegradabilidad de la biopelícula tanto en aire, suelo, por lo que se acotará la biodegradabilidad del mismo en agua, para lo cual se empleó recipientes plásticos con trozos de biopelícula de 3 x 3 cm², que fueron cubiertos con 0.5 ml aproximadamente de agua de grifo.

Esta evaluación será tomada en cuenta durante un lapso de 1 mes aproximadamente, por lo cual el área del bioplástico empleado para cada tratamiento debe ser reducido hasta su totalidad, el análisis y revisión de dicho fenómeno será evaluado cada semana, durante un mes o más.

El porcentaje de pérdida de peso se determinó mediante la ecuación descrita a continuación:

$$\% \text{Pérdida de peso} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100\%$$





Donde:

P_i = peso inicial de la lámina de plástico

P_f = peso final de la lámina de plástico

3.3.8-1 Biodegradabilidad en tierra (compost)

Tabla 33-3: Resultados de la apariencia de las láminas durante 4 semanas en compost

Biodegradación Compost				
T	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
T1				



Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tabla 34-3: Análisis de biodegradabilidad tratamientos: 1-4 (suelo)

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tratamiento	Día								
	Unidad	0	7	14	21	28	35	42	49
T1	cm2	9.083	8.752	8.021	7.987	6.854	5.075	4.047	3.047
	%	0	3.644	11.692	12.066	24.54	44.126	55.444	66.453
T2	cm2	8.925	6.858	5.768	5.076	4.874	3.989	2.032	1.087
	%	0	23.159	35.372	43.126	45.389	55.304	77.232	87.82
T3	cm2	9.000	7.023	6.346	6.012	5.457	4.685	2.965	1.343
	%	0	21.966	29.488	33.2	39.366	47.944	67.055	85.077
T4	cm2	8.882	7.675	5.567	4.541	3.769	2.687	1.095	0.532
	%	0	13.589	37.322	48.874	57.565	69.747	87.671	94.01

Gráfico 3-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T1

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

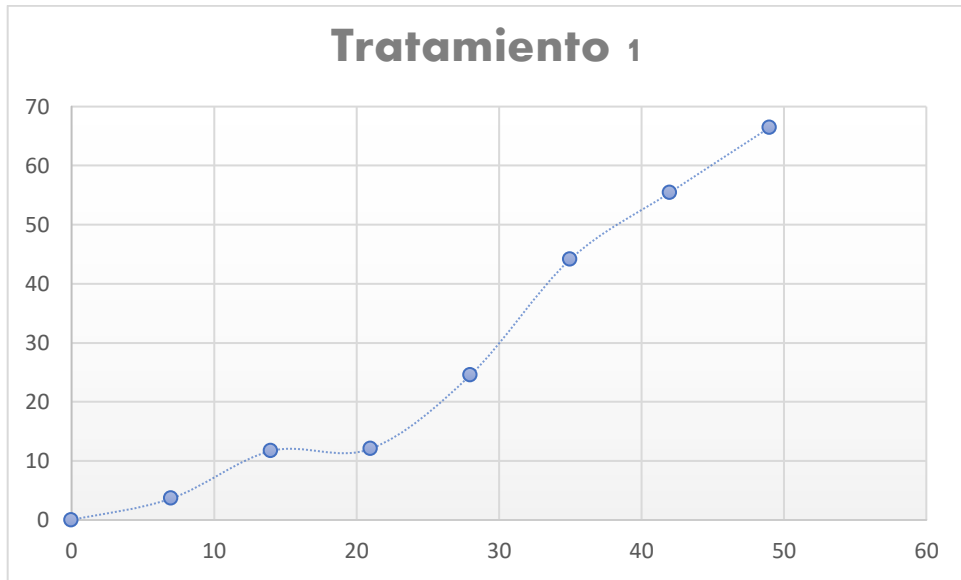


Gráfico 4-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T2.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.



Gráfico 5-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T3.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

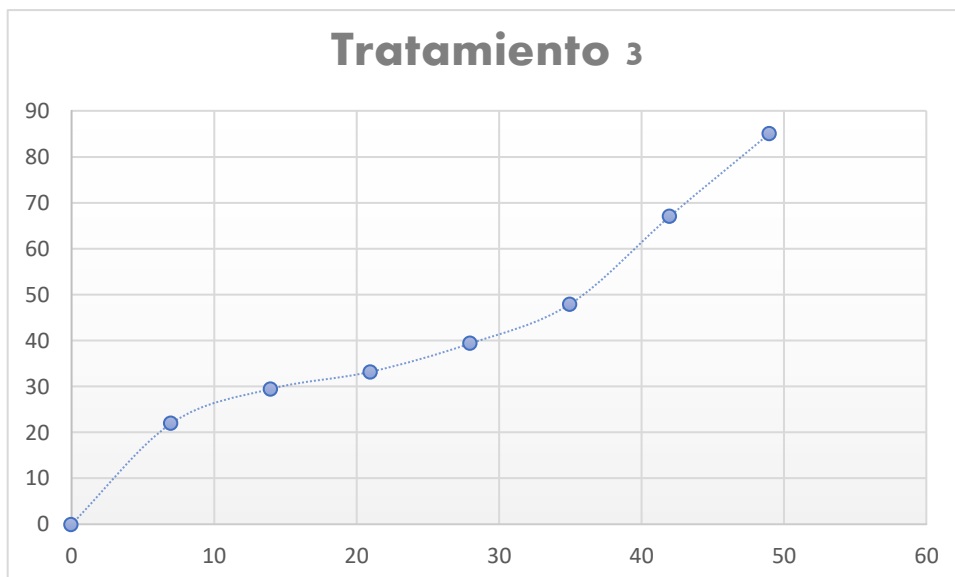
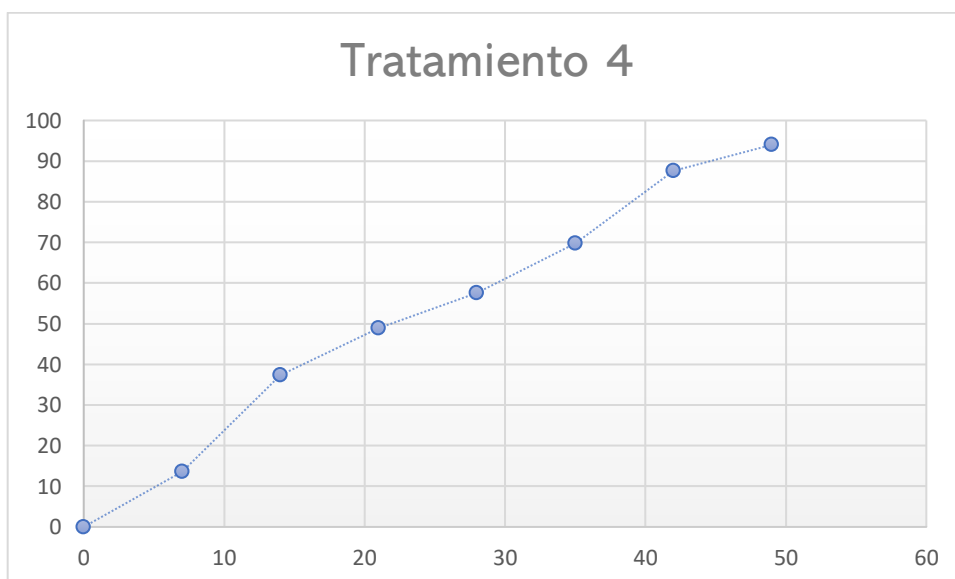


Gráfico 6-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el suelo, T4.

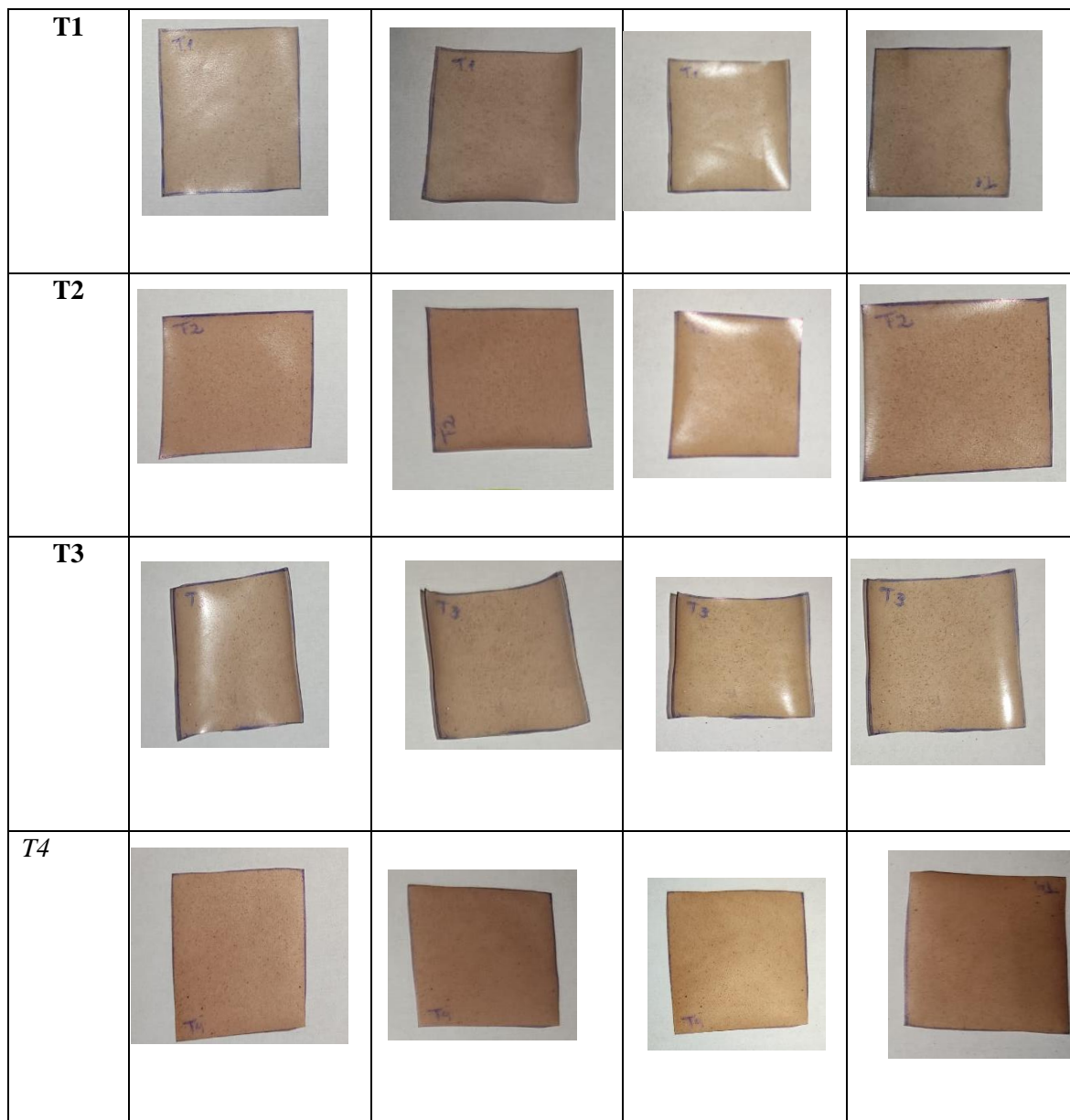
Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.



3.3.8-2. Biodegradabilidad en aire (temperatura ambiente).

Tabla 35-3: Resultados de la apariencia de las láminas durante 4 semanas en aire

Biodegradación aire				
T	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4



Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tabla 36-3: Análisis de biodegradabilidad tratamientos: 1-4 (aire)

Tratamiento	Día									
	Unidad	0	7	14	21	28	35	42	49	56
T1	cm2	9.023	8.995	8.095	7.345	6.002	4.985	3.237	2.001	1.032
	%	0	0.31	10.284	18.596	33.481	44.752	64.125	77.823	88.562
T2	cm2	8.996	8.236	7.336	6.356	5.023	3.994	2.365	1.076	0.654
	%	0	8.514	18.452	29.346	44.164	55.602	73.71	88.039	92.73
T3	cm2	9.001	8.892	7.992	6.654	5.346	4.012	2.564	1.125	0.864
	%	0	1.211	11.21	26.074	40.606	55.427	71.514	87.501	90.401
T4	cm2	8.992	8.589	8.089	7.003	5.969	4.234	2.021	1.001	0.563
	%	0	4.481	10.042	22.119	33.618	52.913	77.524	88.867	93.738

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

Gráfico 7-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T1.

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

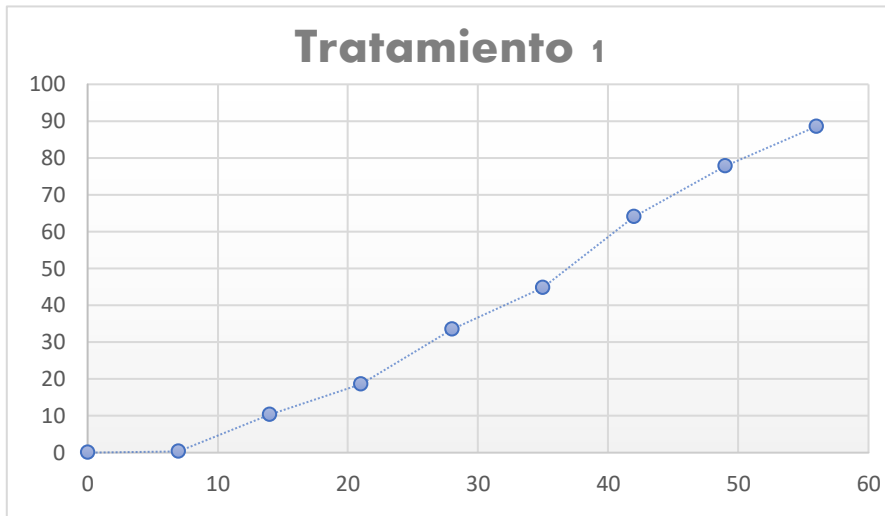


Gráfico 8-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T2.

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

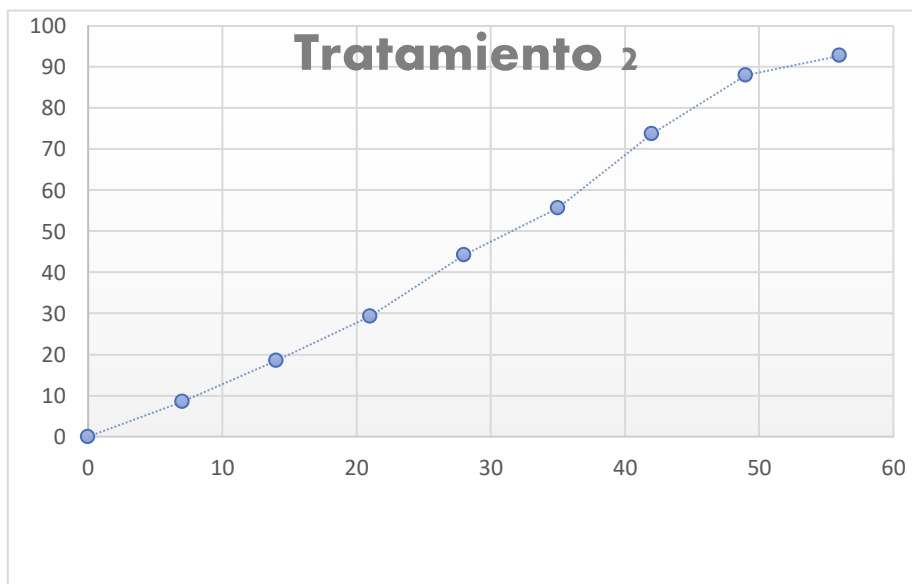


Gráfico 9-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T3.

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.

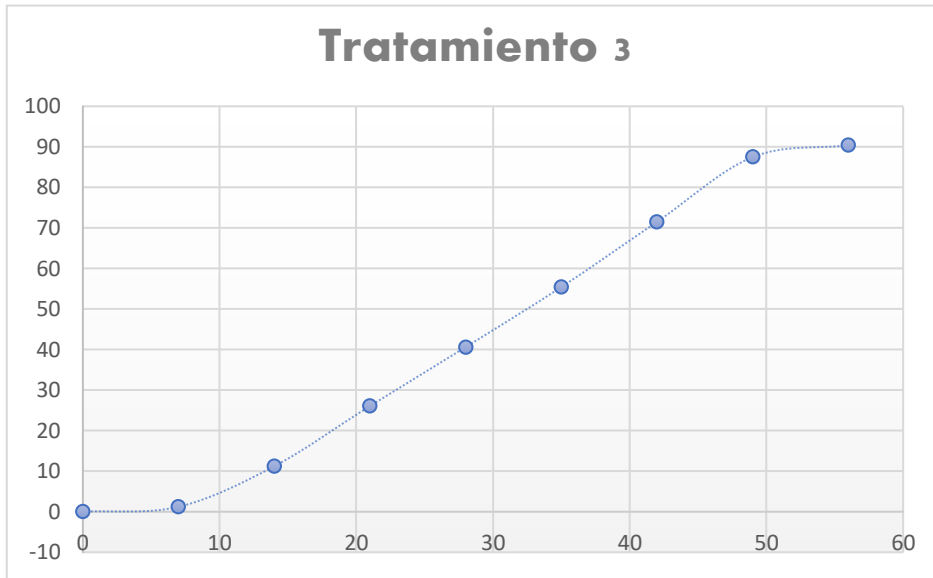
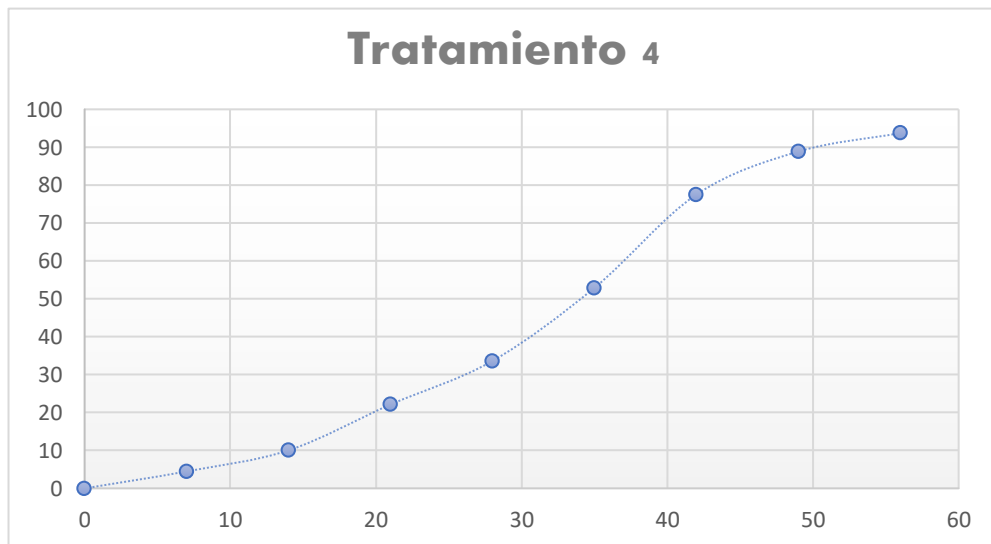


Gráfico 10-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el aire, T4.

















Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.



3.3.8-3. *Biodegradabilidad en el agua.*

Tabla 37-3: Resultados de la apariencia de las láminas durante 4 semanas en agua.

Biodegradación en agua				
T	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4

T 1				
T 2				
T 3				
T 4				

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Tabla 38-3: Análisis de biodegradabilidad tratamientos: 1-4 (agua)

Tratamiento	Día							
T1	Unidad	0	7	14	21	28	35	42
	cm2	9.002	8.892	5.092	4.012	3.023	1.0876	0.056
	%	0	1.221	43.434	55.432	66.418	87.918	99.377
T2	cm2	8.995	6.986	5.861	3.986	2.023	1.095	0.065
	%	0	22.334	34.841	55.686	77.509	87.826	99.277
T3	cm2	9.000	8.892	7.352	5.865	4.095	2.065	1.032
	%	0	1.2	18.311	34.833	54.5	77.055	88.533
T4	cm2	8.985	7.687	6.239	4.098	3.042	1.002	0.0021
	%	0	14.446	30.562	54.39	66.1435	88.848	99.976

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

Gráfico 11-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T1.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

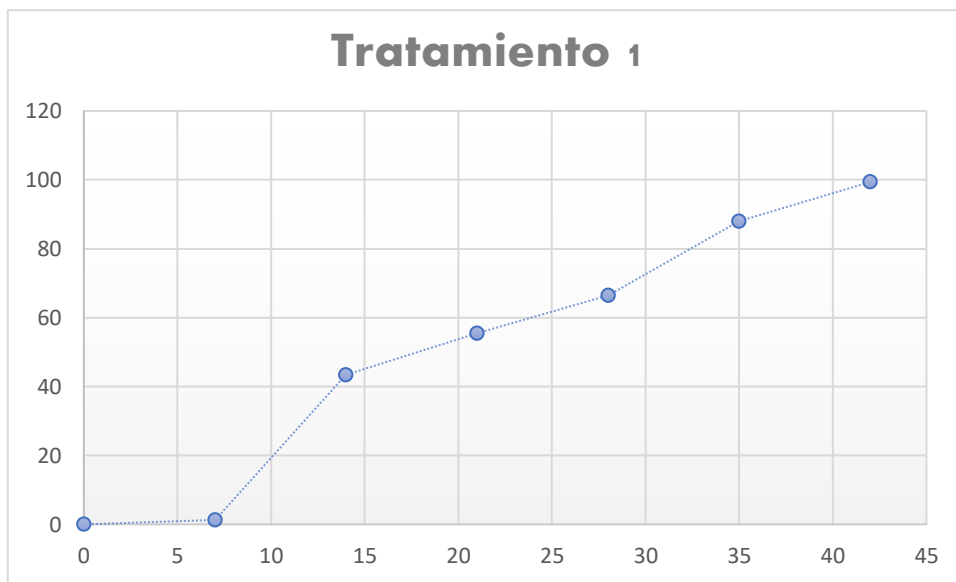


Gráfico 12-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T2.

Realizado por: Erazo, Heidy, 2021.

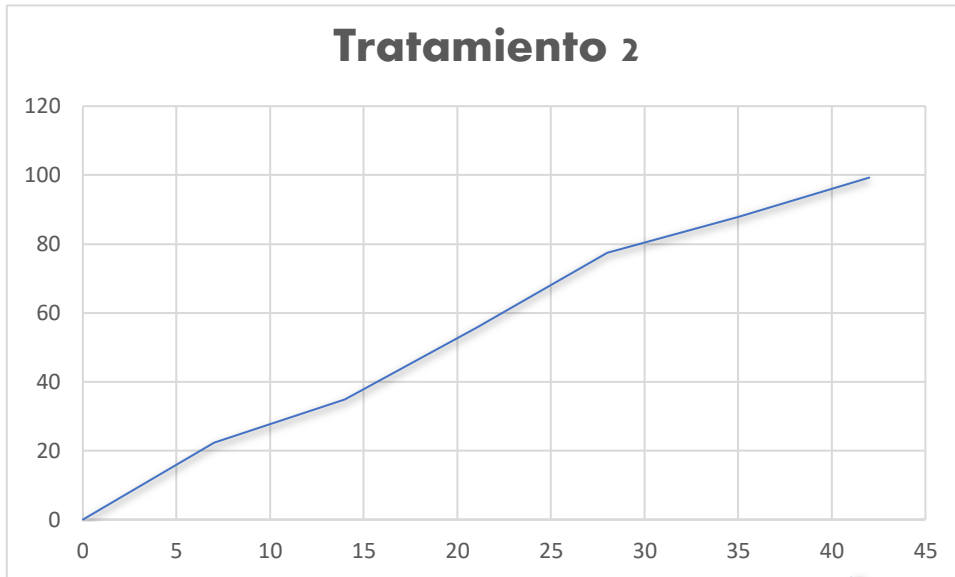


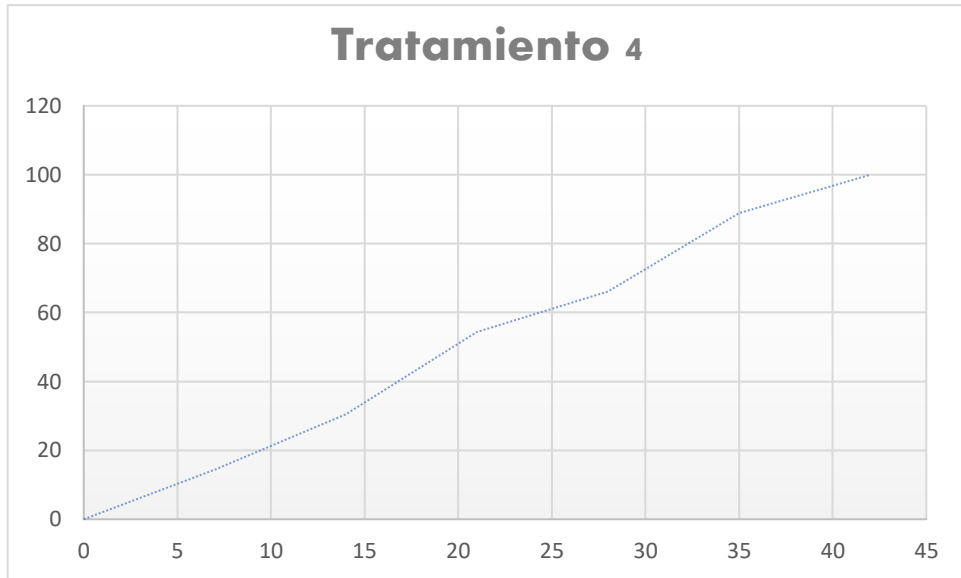
Gráfico 13-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T3.

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.



Gráfico 14-2. Gráfico de valores de % de biodegradabilidad en el agua, T4.

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021.



Interpretación:

Las láminas de bioplástico obtenido fueron sometidas a ensayos de biodegradabilidad, en un medio acuoso, de compost y al aire (aerobio), los mencionados resultados arrojaron que las láminas de bioplástico en agua en un total de 96.78%, en aire un 83.33% en aire en un 91.35 % en 42, 56 y 49 días respectivamente, contribuyendo así la disminución de la contaminación ambiental.

3.3.9 Evaluación análisis bacteriológico.

Para los análisis microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras) en el almidón de maíz negro (*Zea mays L.*) se aplicó un análisis exploratorio de datos el cual se muestra en la siguiente tabla 21-3.

Tabla 39-3: Examen bacteriológico del almidón de maíz morado.

Maíz Morado			
Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	-	0
Coliformes Fecales (<i>Escherichia Coli</i>)	UFC/g	<10	0
Mohos y levaduras	UFC/g	1000-5000	0

Realizado por: Erazo, Heidi, 2021

Interpretación:

De acuerdo con la tabla 21-3 el valor asociado mostró los siguientes promedios expresados en UFC/g (Unidades formadoras de colonias /gramo), en el análisis de cantidad de mohos y levaduras fue de 0, coliformes totales 0 y *Escherichia Coli* 0,00, con una desviación estándar de cantidad de mohos-levaduras 0,00, aerobios mesófilos 0,00 y 0,00, en cuanto al coeficiente de variación se observó que los datos fueron homogéneos ya que son menores al 5%.

3.3.11. Evaluación de las formulaciones como biopelícula

Las cuatro formulaciones generadas dentro del diseño experimental 2k, fueron evaluadas como biopelícula; para obtenerlas se realizaron pruebas de secado a distintos tiempos y temperaturas, de forma que a una temperatura entre 25-40 °C por un lapso de 72 horas donde se obtenían biopelículas con mayor facilidad para desmoldar. Entre los criterios a determinar para seleccionar las formulaciones con mejor comportamiento como biopelícula, se tomó en cuenta: transparencia, textura, elasticidad y facilidad para desmoldar.

Interpretación:

Además, se evaluaron 3 parámetros en 4 tratamientos elaborados con almidón de maíz negro, los resultados se encontraron en orden ascendente, la humedad mostró un promedio en sus medias con los resultados detallados a continuación: (25.261%) T4, (32.412%) T2, (33.451%) T1, (35.541%) T3, se verificaron en cada uno de ellos tratamientos los límites de humedad con un máximo de 13.5%.

En cuanto a la variable de espesor representado en milímetros se observaron los siguientes datos: (0.155 mm) T4, (0.158 mm) T1, (0.163) T2, (0.200) T3, los intervalos del espesor deben estar dentro de un rango mínimo de 0.15 y 0.27 mm máximo, por lo que todos los tratamientos están dentro del límite aceptado, este no deberá ser menor a 0.10 mm debido a que, si el grosor es mayor, menor será la flexibilidad y se verá afectado en las propiedades de barrera.




La variable de biodegradabilidad se realizó en un lapso de 42 días para el agua, 49 días para el compost, y 56 días para el aire; arrojando los siguientes resultados: (agua) (88.533%) T3, (99.277%) T2, (99.377%) T1, (99.976%) T4; (compost) (66.453%) T1, (85.077%) T3, (87.82%) T2, (94.01%) T4; (aire) (88.56%) T1, (90.401%) T3, (92.73%) T2 y (93.73%) T4.

Discusión:

De las características y variables analizadas anteriormente, se determinó que el tratamiento 4 cumple todos los parámetros establecidos, dicho tratamiento con las combinaciones siguientes: 2 gramos de almidón, 40 mL de agua, 0.5 glicerina, 2.5 CMC, 8.5 de ácido acético, la cual presentó buenas características físico y mecánicas como: Humedad (25.261%), Espesor (0,155 mm) y biodegradabilidad (95.908%).

Los tratamientos 1 y 3, se optó por descartarlos de manera que el tratamiento 1 tuvo una textura áspera y opaca en tanto que el tratamiento 3 se caracterizó por tener un grosor relevante, similar a un plástico para cubrir mesas.

Tabla 40-3: Tratamientos obtenidos después de 72 horas

Tratamientos	72 horas después del secado
<p style="text-align: center;">T1 X</p>	
<p style="text-align: center;">T2 X</p>	
<p style="text-align: center;">T3 -</p>	



Realizado por: Erazo, Heidy, 2021

En la **tabla 40-3** evidencia las biopelículas obtenidas luego de 72 horas de secado a 40 °C, prueba piloto. El tratamiento 3 y tratamiento 4, presentaron mayor facilidad para desmoldar, menor espesor y transparencia; sin embargo, las formulaciones de los tratamientos 1 y 2 fueron más elásticas.

3.3.12 Resultados de la aplicación de la biopelícula en el producto

La aplicación de la biopelícula como envoltura para alimentos es determinante en esta investigación. Se realizó un análisis comparativo entre la fruta envuelta y la fruta sin envolver (al ambiente), esto permitirá determinar si la aplicación de la biopelícula para conservar alimentos es viable o no, de esta manera se determina un análisis sensorial de la frutilla que será el objeto de estudio, análisis que se observa en la tabla 40-3.

Tabla 41-3: Análisis sensorial de la frutilla envuelta en la biopelícula a partir de almidón de maíz morado.

ANÁLISIS SENSORIAL DE LA FRUTILLA				
Tipo de estudio	Textura	Sabor	Olor	Aspecto
Frutilla al ambiente	Blando	Amargo	Rancio	Deshidratado
Frutilla envuelta	Duro	Dulce	Dulce	Firme

Realizado por: Erazo Heidy, 2021.

3.4 Prueba de Hipótesis

Determinación de las características de la biopelícula para el embalaje de alimentos.

Por medio del diseño factorial 2^2 de 4 tratamientos con 3 repeticiones propuestas para esta investigación, se obtuvo que la formulación cuatro fue la óptima, basada en un análisis sensorial, análisis mecánico y un análisis de biodegradabilidad, para cada una de las láminas de bioplástico elaboradas a partir del almidón de maíz morado. La formulación cuatro a base de almidón (variable) – aditivos (constantes) donde los tratamientos variaron de 2 a 3.5 en cuanto al almidón, de 1 a 3.5 el CMC, el agua, el vinagre y la glicerina se mantuvieron constantes, donde la formulación óptima para envoltura de alimentos estuvo compuesta por: almidón (2 gramos), agua (40 mL), ácido acético (7 mL), glicerina (0.5 mL), CMC (1 mL) cumpliendo satisfactoriamente los requerimientos de envoltura para alimentos. En cuanto a la combinación almidón (constante) – aditivos (variables), donde el ácido acético varió de 7 a 10 mL, el CMC de 1 a 3.5 mL, mientras que el agua, el almidón, y la glicerina se mantuvieron constantes la formulación óptima estuvo compuesta por: (2 gramos) de almidón (40 mL) de agua, (8.5 mL) de ácido acético, (0.5 mL) de glicerina (2.5 mL) de CMC.

El almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) se lo extrajo por vía seca variando las velocidades alta y baja con dos tiempos de trituración de 45 segundos y 60 segundos; mediante lo cual es considerable que el almidón cumple con las características necesarias para la elaboración de la biopelícula para el embalaje de alimentos.

Aceptando la hipótesis general planteada para la formulación de biopelículas elaboradas a base de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)

Porcentaje de amilopectina y amilosa factores importantes e influyentes

El análisis mostrado en la **tabla 2-3** fue realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias 2021, el mismo que indica que el contenido de amilosa es de 26.09%, al ser la amilosa el principal componente para la combinación junto con el plastificante (glicerina), dando origen a fuerzas polares que forman una red de enlaces para optimizar tanto las propiedades mecánicas como las de barrera de la biopelícula. (Charro, 2015 pág. 67).

El valor de 26.09% de amilosa es la atribución representativa de excelentes propiedades por su capacidad al hincharse al entrar en contacto con el agua, beneficiando de esta manera, la formulación de una buena biopelícula para el embalaje de alimentos.

En cuanto a la relación amilosa/amilopectina como lo menciona (Cardona, 2019) de maíz morado otorga buenas características al bioplástico resultante ya que este parámetro define entre otras cosas el tiempo de degradación del mismo.

Según (Cardona, 2019) generalmente los almidones cuentan con una relación 20 - 80 % de amilosa y amilopectina, en este caso el almidón está en una proporción 20% del contenido total del maíz con una relación 26-78% lo cual hizo que el almidón interactuara de forma positiva, es decir no se tomaron acciones correctivas como la adición de elevada cantidad de plastificante, o aumento de la agitación, lo que no ocurrió con (Cardona, 2019) que tuvo una relación 14 % de amilosa y 86% amilopectina, por lo que recurrió a la adición de plastificantes, agitación mecánica entre otras variables que se deben tomar en cuenta en la elaboración de polímeros.

Mediante este análisis se rechazó esta hipótesis específica resaltando que el influyente principal para la elaboración de biopelículas es la amilosa; sin embargo no se puede dejar de lado la importancia de la relación amilosa/ amilopectina en un almidón, esta relación es clave para la determinación de características primordiales de los biopolímeros, como por ejemplo el tiempo de degradación del mismo.

La biodegradabilidad de las láminas obtenidas se degrada en menor tiempo que el plástico tradicional, contribuyendo a la disminución del impacto ambiental.

De igual manera se confirmó esta hipótesis específica teniendo suficiente evidencia estadística y fotográfica. El bioplástico obtenido fue sometido a un ensayo de simulación en medios: compost, agua y aire para comprobar su biodegradabilidad, dichos resultados arrojaron que las láminas de bioplástico se biodegradaron en un 90.48% de su totalidad en 56 días aproximadamente, contribuyendo a disminuir la contaminación ambiental. Además demuestra que está dentro del rango de tiempo establecido por la norma EN 13432 sobre los criterios de biodegradabilidad de un envase plástico. Considerándose, así como una alternativa viable ante el plástico tradicional que tarda entre 100 y 1000 años en descomponerse.

Las Biopelículas elaboradas a base de almidón de maíz morado mejora la vida útil de los alimentos.

Esta hipótesis específica, es validada como cierta, puesto que el bioplástico obtenido, exhibe propiedades similares al plástico convencional, en cuanto a sus propiedades mecánicas, así está el espesor igual a 0.08 mm el cual se encuentra dentro del rango establecido por la norma ISO 4591 para plásticos, películas y hojas de películas, adicional a esto se tiene la flexibilidad necesaria para una envoltura destinada a alimentos, en cuanto a su transparencia no fue total debido a que su materia prima del cual fue procedente posee antocianinas mismas que se encargan de otorgarle una tonalidad morado-rosa, para tratar esta tonalidad se agregó ácido acético, el cual proporcionó más transparencia a las láminas de bioplástico.

En cuanto a la vida útil, obtuvo un promedio relativamente bueno en comparación al plástico convencional, sin embargo, no superó las propiedades que otorga este al alimento recubierto, esta hipótesis tiene evidencia en el **Anexo E** y en la **tabla 40-3**.

CONCLUSIONES:

- Se formuló un tratamiento adecuado para el embalaje de alimentos, donde se tomó en cuenta el espesor del plástico, el porcentaje de biodegradabilidad, y un análisis sensorial, que permita cumplir con los requerimientos de un recubrimiento de alimentos con el fin de preservar su calidad y servir de empaque de manera que el producto final sea apto para el consumo, como formulación adecuada se optó por la formulación 4 por presentar todas las características antes mencionadas.
- La extracción de almidón a partir de la mazorca de maíz morado (*Zea Mays L*) se realizó siguiendo el método por vía seca descrito por (Carrasco, y otros, 2018 pág. 7) con ciertas modificaciones basadas en (Cobana M, 2007). Con un rendimiento de extracción de almidón de 72.67% el cual fue un resultado satisfactorio, este rendimiento fue calculado estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA). sin embargo, al no existir diferencia significativa entre los tratamientos se podría optar por cualquiera de ellos, a escala industrial.
- La caracterización del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) se basó en evaluar los parámetros físicos y químicos del mismo, el contenido de amilosa y amilopectina fue analizado por INIAP; donde arrojó valores de 26.09% y 73.92% respectivamente, el almidón analizado presentó un contenido de humedad expresado como porcentaje de agua perdida igual a 8.697%, según el estudio realizado por Campeche (México), demostró que la variedad de maíz morado refleja un mayor contenido de humedad con otras variedades de maíz. Con respecto al índice de absorción de agua y el índice de solubilidad, demostró valores de 2.411 g gel/muestra y un porcentaje igual a 16.65%, según el rango indicado por (Bressani, et al., 2001) el promedio obtenido en la presente investigación está fuera del rango, esto se debe a que las harinas de maíz analizadas por (Bressani, et al., 2001) son nixtamalizadas es decir que fueron sometidas a un proceso de cocción con agua y cal viva a diferencia del almidón de maíz morado analizado. La alta solubilidad y la baja absorción de agua indican un almidón de calidad baja, consecuente a esto se determina que el almidón analizado es un almidón de baja calidad.
- Las formulaciones para la elaboración de las biopelículas fueron generadas mediante el diseño factorial 2^2 , con el cual se obtuvo cuatro formulaciones, de las cuales, en base al análisis sensorial, realizado en los bioplásticos se determinó que la formulación óptima fue la número 4, cuya composición fue: almidón (2 gramos), agua (40 mL), ácido acético (7 mL), glicerina (0.5 mL), CMC (1 mL). Además, esta afirmación sensorial fue constatada en un análisis con los ensayos de tracción, y análisis de biodegradabilidad, donde el esfuerzo máximo del tratamiento 4 fue igual a 3.48 [Mpa] superior a los demás tratamientos excepto al tratamiento 3 que tuvo un esfuerzo máximo de 9.50 [Mpa] sin embargo este tratamiento

tuvo un espesor de (0.2 mm), el cual no sería tan factible para la envoltura de alimentos en comparación al tratamiento 4 que tiene un espesor inferior igual a (0.08 mm). Con respecto a la biodegradabilidad el tratamiento 4 fue el óptimo para suelo, aire y agua superando el 90% de biodegradabilidad.

- Se determinó la vida útil de los alimentos recubiertos con la lámina de biopelícula, mediante un análisis sensorial y en el ambiente, con un blanco sin recubrir y el otro embalado con la biopelícula, se lo realizó con la frutilla como objeto de estudio, en un lapso de 7 días, determinando que la biopelícula con la cual se envolvió la frutilla es de excelente calidad y mantiene a la fruta fresca, las propiedades organolépticas no se vieron alteradas, mantuvo buena apariencia, no presentó permeabilidad al recubrir la frutilla por lo que no se evidenció el paso de vapor de agua, de esta manera se concluye que la biopelícula elaborada a base de maíz morado ayuda a mantener la fruta sin alterar sus propiedades.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda formular la cantidad necesaria de mezcla (almidón - aditivos), adecuando la misma al tamaño del molde donde vaya a estabilizarse el bioplástico obtenido, evitando así la incongruencia de espesor en todo el biofilm.
- En la fabricación de las láminas de plástico biodegradable, es recomendable disponer de una extrusora de laboratorio, contribuyendo aún más en la investigación de polímeros orgánicos de fuentes renovables.
- Realizar mejoras a los procesos de extracción de almidón de maíz morado (*Zea Mays L*) tanto para el método seco como para el método húmedo comparando los mismos con la finalidad de optimizarlos y obtener mayores rendimientos.
- Realizar un diseño de planta para el proceso de extracción del almidón así también la aplicación de la envoltura en alimentos, consolidando así la presente investigación.
- Es recomendable aplicar un desmoldante la elaboración de las biopelículas para evitar la ruptura y desperdicio de las misma.

BIBLIOGRAFÍA

Agropecuaria, Scientia. 2014. 2014.

Álvarez, R. 2012. Formulación de recubrimiento para frutas cítricas estudio de impacto mediante aproximación metabolómica y evaluación de la calidad poscosecha. Medellín : s.n., 2012.

Arévalo Verónica, A. G. Enero, 2018. Formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de sorgo y yuca. Enero, 2018.

Argenbio. 2015. Bioplástico que son su futuro y su vínculo con el grupo. [En línea] 19 de febrero de 2015. <http://agricultureros.com/bioplasticos-que-son-su-futuro-y-su-vinculocon-el-agro/>.

Arzalapo, H. Q. Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua negra, roja y blanca. 2015. 2015, Revista Scielo, pág. 81.

Avellán, Adriana y et, al. 2019. Obtención de bioplástico a partir de almidón de yuca. *Ciencias, tecnologías y negocios*. Panamá : s.n., 2019, Vol. 7.

Beltrán M. y Marcilla A. 2016. Tecnología de Polímeros. *Core*. [En línea] junio de 2016. <https://core.ac.uk/download/pdf/16369158.pdf>.

Beltrán, M & Marcilla, M. 2012. *Tecnología de polímeros*. Alicante España : 978-84-9717-232-5, 2012.

Bioplásticos y plásticos degradables. Vázquez, Morillas y Valdemar, Espinosa. 2018. 2018, Azcapotzalco/Anipac, pág. 11.

Blanco. 2013. Effect of different protein extracts from *Dosidicus gigas* muscle coproducts on edible films development. *Food Hydrocolloids*. [En línea] 2013. [Citado el: 18 de 01 de 2021.] <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11979/1/AL%20572.pdf>.

Borja, Fornell María José. 2013. *Tesis (Ingeniero en Agroempresas), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería el Politécnico*. Quito, Ecuador : Quito, 2013, 2013.

Bressani, et al. 2001. *Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central*. Guatemala : ALAN, 2001.

Buensuceso, V. 2010. Elaboración y caracterización de Biopelículas a partir de almidón de yuca. México D.F : s.n., 2010.

Buensuceso, Virginia. 2010. *Elaboración y caracterización de Biopelículas a partir de almidón de yuca*. México D.F : s.n., 2010.

Burgos, J, Jara, S y Quintar, P. 2015. Harina de maíz morado: Composición nutricional. Elaboración de galletitas. [En línea] 2015. [Citado el: 04 de 02 de 2021.] <http://hdl.handle.net/11086/12807>.

Burt. S . foods, Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in. 2004. 2004, A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), págs. 223-253.

- Cardona, Juan. 2019.** *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa.* Bogotá : s.n., 2019.
- Carrasco, L y Molocho, R. 2018.** *Extracción de almidón.* Perú : Universidad Nacional Autónoma del Chota, 2018.
- Carrasco, L y Morocho, Reyes. Junio 2018.** *Extracción de almidón.* Chota : Universidad Nacional Autónoma del Chota, Junio 2018.
- Castillo, M. 2015.** *Elaboración de una bebida a partir del maíz morado como alternativa para el consumo diario.* Riobamba, Ecuador : s.n., 2015.
- Caviedes, M. 2010.** *Cultivos I: Sierra. Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición.* Quito, Ecuador : Quito, 2010, 2010.
- Charro, M. 2015.** *Obtención de plástico biodegradable a partir del almidón de patata.* Quito, Ecuador : s.n., 2015.
- Charro, M. 2015.** [En línea] 2015. [Citado el: 17 de 01 de 2021.] <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>.
- Cobana M.** *Proceso de extracción de almidón de yuca por vía.* 2007. Bolivia : s.n., 2007, Vol. 24.
- Condori, S. 2006.** *Evaluación de líneas de maíz morado (Zea mays L.) provenientes de la variedad PMV-581.* Lima- Perú : s.n., 2006. 98.
- Dong, H, y otros. 2008.** *Relationships between some physicochemical properties of starches from maize cultivars grown in East China.* *Starch.* 2008.
- FAO.** *Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca, Capítulo 8.*
- Fennema, O. 2000.** *Carboximetilcelulosa, Química de Alimentos.* 2000.
- Fukamachi et. al. El color del maíz morado suprime el nivel de proteína Ras e inhibe la carcinogénesis mamaria inducida por 7, 12-dimetilbenz [a] antraceno en la rata. 2008.** 2008.
- García, Alma. 2015.** *Obtención de un polímero biodegradable a través de almidón de maíz.* El Salvador : s.n., 2015.
- Gómez, C.A. 2010.** *Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría.* 2010.
- Gontard, N, Guilbert, S y Cug, J. 1993.** *Food Sci. , 58.* 1993.
- GTM, (s.f).** Hoja de datos de seguridad de ácido acético.
- Guamán, Jenny. 2019.** *Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascara de papa para su aplicación industrial.* [En línea] 2019. [Citado el: 22 de 02 de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11069>.
- Guillén Jhoseline, S. M. 2014.** *Características y propiedades funcionales del maíz morado.* Trujillo Perú : s.n., 2014.
- Gutierrez, U. 2016.** *Elaboración de nejayote y nixtamalización de maíz.* 2016.

Hernandez, et al. 2018. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán. [En línea] 2018. [Citado el: 02 de 06 de 2020.] <https://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>.

Hernández, T.G. 2008. *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán*. México : Revista Scielo, 28(3), 3-5, 2008.

Herrera, Adela Estefanía Paspuel. 2016. Bitstream. *Digital.edu*. [En línea] Noviembre de 2016. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5838/1/AGI-2016-T034.pdf>.

ICONTEC. 2002. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca*. 2002.

INIAP. 2017. 2017.

Johanna Aristizábal, Teresa Sánchez. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca, Capítulo 8. *FAO*. [En línea] 2007. [Citado el: 06 de 02 de 2021.] <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/a1028s/a1028s03.pdf>.

Kramer, M. 2009. *Structure and Function of Starch-Based Edible films and coatings*. s.l. : Edible Films and Coatings for food applications, 2009. págs 113-134.

Labeaga, Aitziber. Polímeros Biodegradables Importancia y potenciales aplicaciones. Febrero 2018. Febrero 2018.

Lavado, A, Ráez, L y Robles, R. 2013. *El maíz morado como materia prima industrial*. s.l. : Revista de la facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM. 91, 2013. p. 15(2): 85-91..

López, A y al., . et. 2010. *Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (L.vannamei)*. Venezuela : Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 2010.

Mano et al. 2003. *Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blends*. 2003.

Mariano. 2011. Tecnología de los plásticos . [En línea] 27 de junio de 2011. [Citado el: 11 de 01 de 2021.] <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>.

Medina et al., M. 2007. Caracterización físicoquímica de almidones. *Ciencia Tecnología de alimentos*. [En línea] 27 de 09 de 2007. [Citado el: 11 de 01 de 2020.] <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>.

Moposita, D y Guaminga, L. 2020. *Obtención y caracterización funcional de harina y almidón de maíz negro (zea mays L)*. Riobamba : Universidad Nacional de Chimborazo, 2020.

Moreno, G. 2015. Facultad de ciencias e ingeniería en alimentos. *Universidad Técnica de Ambato*. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de Enero de 2021.] <file:///D:/articulos%20cientificos/tesis%20gabriel.pdf>.

Navas, L. Oleoginosas, tecnología de cereales. 2017.

Noroña. 2018. El Comercio. *Tendencias, Ambiente*. [En línea] 14 de septiembre de 2018. <https://www.elcomercio.com/tendencias/desechos-plasticos-oceanos-ecuadorministeriodelambiente.html>.

Ocaña Vilema, Lucely. 2020. *Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de Musa acuminata y Zea mays*". Riobamba Ecuador : s.n., 2020.

Omar Perez; y otros. Determinación de condiciones de reacción y cinética en la acetilación de almidón. **2018.** Villa Clara : s.n., 2018, Vol. 45.

Otiniano. 2012. 2012.

Petrikoski, A. 2013. *Elaboracao de biofilmes de fécula de mandioca e avalicao do seu uso na imobilizacao de caulinita intercalada com ureia. Teis Pos-Graduaco en Tecnologia. Químicos e Bioquímicos, Pato Branco, Brasil.* 2013. página 71.

Pilla, I y Barroso, A. 2017. Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y plastificantes. Quito : EPN. : s.n., 2017, pág. 98 hojas.

Pinedo Taco, Rember, Rodríguez Soto, Gilberto y Valverde Reyes, Norma. 2017. *Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán-Ayacucho.* Perú : s.n., 2017.

Risco, M. 2001. *Conociendo la cadena productiva del maíz morado en Ayacucho.* *Solid.* Perú : s.n., 2001. 88.

Rodríguez, E. 2008. Caracterización físico-química de amidos de tubérculos cultivados en Yucatán. [En línea] 26 de 03 de 2008. [Citado el: 11 de 01 de 2021.] <http://chefemigdio.blogspot.com/2008/03/almidones-en-los-alimentos-primera.html>.

Salazar, G y Cesareo, D. 2019. UHEVAL. *Obtención de biopelúclas de almidón a partir de dos variedades de maíz amiláceo y amarillo duro (Zea Mays L.).* [En línea] 2019. [Citado el: 11 de enero de 2021.] <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/5393>.

Silva, Laura Álvarez de. 2016. Bitstream. IDU. [En línea] Diciembre de 2016. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54517/BIOPL%C3%81STICOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Solano, Luz Georgina, Alamilla, Beltrán Liliana y Jiménez Martínez, Cristian. 2018. *Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados.* México : s.n., 2018.

Tapia, M, y otros. 2012. *Some properties of starch and starch edible films from under-utilized roots and tubers from the Venezuelan Amazons.* *Journal of celular plastics.* 2012. 526-544.

Tecnológico, LEIA Centro de desarrollo. 2007. FEDIT. [En línea] 20 de enero de 2007. <file:///C:/Users/USER/Downloads/BIOPOLMEROSENPLSTICOS-ActividadesObservatorioQuimico2007FEDIT.pdf>.

Tocagni. 1982. *el maíz.* Buenos Aires, Argentina : albatros, 1982.

Trejo, V, Aragón, N y Miranda, P. 2001. *Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán.* *Journal of the Mexixan Chemical Society.* V. 45. n. 1. 1-5 p. 2001.

Wolfe, H. 1996. *Química General Orgánica.* México : McGraw Hill - segunda edición, 1996. 432, 433.

Young, H, et. al. technology, Starch chemistry and. 1984. Orlando : s.n., 1984,
Fractionation of starch, págs. 249-783.

ANEXOS

ANEXO A: Extracción del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*)



a)



b)



c)



d)



e)

- a) Materia Prima (Maíz Morado)
- b) Harina del maíz morado (Molienda)
- c) Licuado
- d) Filtrado
- e) Decantado

ANEXO B: Caracterización del almidón extraído.



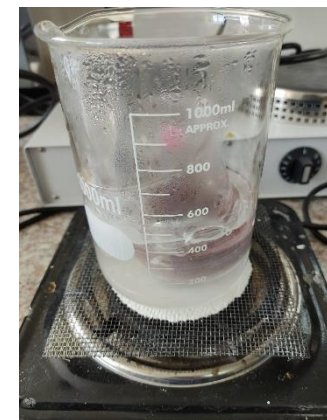
a)



b)



c)

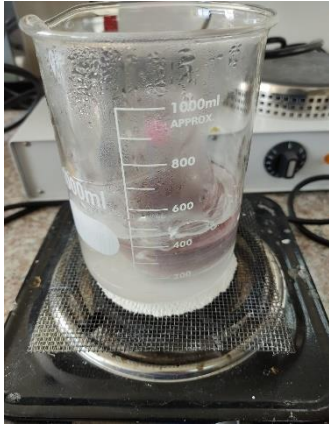


d)

- a) Harina de (Maíz Morado)
- b) Harina del maíz morado (Molienda)
- c) Licuado
- d) Filtrado
- e) Decantado

Realizado por: Erazo Heidi, 2021.

ANEXO C: Elaboración de láminas de bioplástico.



a)



b)

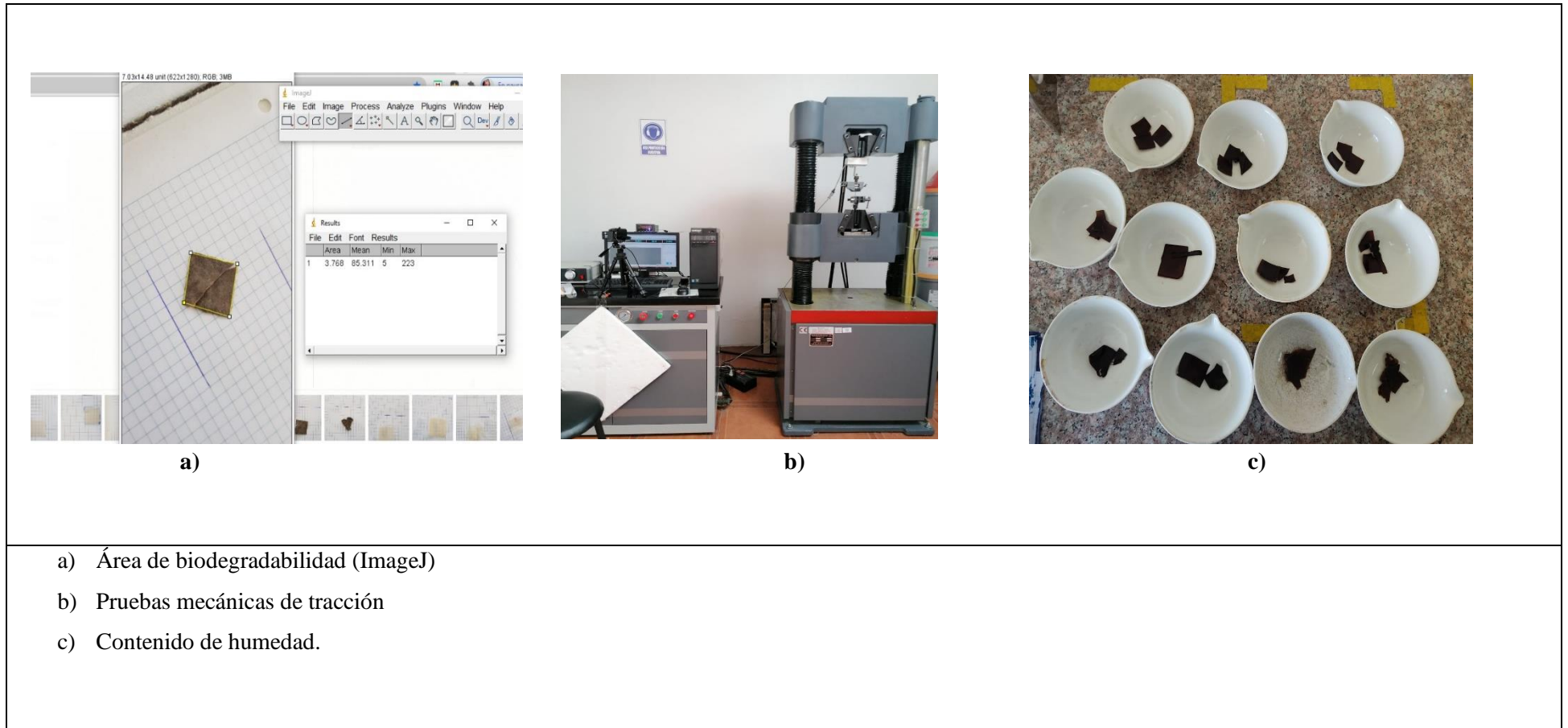


c)

- a) Mezcla de componentes, punto de gelatinización
- b) Pruebas piloto del bioplástico
- c) Desmolde del plástico obtenido.

Realizado por: Erazo Heidy, 2021.

ANEXO D: Caracterización del bioplástico elaborado.



Realizado por: Erazo Heidy, 2021.

ANEXO E: Análisis sensorial de la fruta envuelta con la biopelícula de maíz morado.



a)



b)



c)

- a) Análisis sensorial- frutilla (día 1)
- b) Fruta recubierta con el tratamiento 4 (día 7)
- c) Fruta sin recubrir (día 7)

ANEXO F: Informe de resultados del ensayo de tracción T1



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
SOLICITADO POR:	Heidy Maribel Erizo Hidalgo
PROYECTO DE TESIS:	OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (Zea Mays L) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS
DIRECCIÓN:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA - ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO
MATERIAL:	PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635-012
FECHA DE ENSAYO:	16-ene-21
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	T 1
CARACTERÍSTICA:	CAFÉ TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.16
ANCHURA [mm]	9.67
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1.55
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.246 E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	1.62
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1.05
CARGA MAXIMA [N]	1.73
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.12
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	114.78
OBSERVACIONES:	


Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. MsC.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO G: Informe de resultados del ensayo de tracción T2

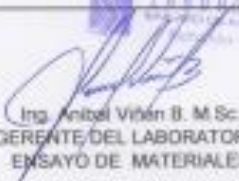


LenMaV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	Denominación: RG 18 - 1
N° 02	
SOLICITADO POR:	Heidy Maribel Erazo Hualpa
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (Zea Mays L.) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS"
DIRECCIÓN:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA - ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTU INEN 2635-012
FECHA DE ENSAYO:	16-ene-21
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	ENM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	T 2
CARACTERÍSTICA:	CAFÉ TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.16
ANCHURA [mm]	10.20
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCIÓN TRANSVERSAL [mm ²]	1.63
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.686.E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	3.33
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2.04
CARGA MÁXIMA [N]	3.94
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	2.42
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]	99.52
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. MsC.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Este documento valida únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la representación visual o total de este documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cda Politécnica

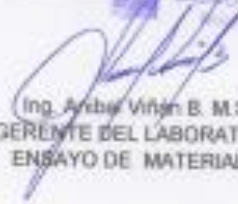
Tel: 032924620 - Cel: 0987260958

email: jviñan54@lenmav.com
flabamba - Ecuador

ANEXO H: Informe de resultados del ensayo de tracción T3

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Hedy Maribel Erazo Hidalgo
PROYECTO DE TESIS:	OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (Zea Mays L.) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS
DIRECCIÓN:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. INQ. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA - ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635-012
FECHA DE ENSAYO:	16-ene-21
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW008E
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7126
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	T 3
CARACTERÍSTICA:	CAFÉ TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.2
ANCHURA [mm]	9.74
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1.93
MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	3.443 E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	15.97
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	8.20
CARGA MÁXIMA [N]	18.51
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	9.50
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]	98.18
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. MsC.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Imprenta. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO I: Informe de resultados del ensayo de tracción T4



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 04	
SOLICITADO POR:	Hedy Maribel Erazo Hidalgo
PROYECTO DE TESIS:	OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELICULA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (Zea Mays L) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELICULA - ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO
MATERIAL:	LAMINA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635-012
FECHA DE ENSAYO:	16-006-21
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW00H
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T 4
CARACTERÍSTICA	CAFÉ TRANSPARENTE
ESPEJOR [mm]	0.08
ANCHURA [mm]	9.77
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	0.78
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.747 E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.34
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	3.00
CARGA MAXIMA [N]	2.72
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	3.48
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	56.47
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:


Ing. Anibal Viñán B. MsC.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.


1/1

ANEXO J: Informe contenido de amilosa y amilopectina, maíz morado (*Zea Mays L.*)

MO-LSAIA-2001-03



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS
Panamericana Sur Km. 1, Cutulegua Trs., 2690021-3007134. Fax 3007134
Cajilla postal 17-01-340

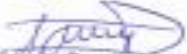


INFORME DE ENSAYO No: 21-013


NOMBRE PETICIONARIO:	Srta. Heidi Maribel Erazo	INSTITUCIÓN:	Particular
DIRECCIÓN:	Chambo	ATENCIÓN:	Srta. Heidi Maribel Erazo
FECHA DE EMISIÓN:	2 de febrero de 2021	FECHA DE RECEPCIÓN:	14/01/2021
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 14 de enero al 2 de febrero de 2021	HORA DE RECEPCIÓN:	08:54
		ANÁLISIS SOLICITADO	Amilosa


ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ¹⁾				IDENTIFICACIÓN
METODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04				
METODO REF.	U. FLORIDA 1976					
UNIDAD	%	%				
21-0020	7.44	26.09				Almidón de maíz morado

Los ensayos marcados con (1) se reportan en base seca.
OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente



Dr. Ivan Samartigo
RESPONSABLE TÉCNICO





Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de esto es estrictamente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Página 2 de 2

ANEXO K: Análisis microbiológico del almidón de maíz morado (*Zea Mays L*).



RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE ALMIDÓN

NOMBRE: Erazo Hidalgo Heidy Maribel
TIPO DE MUESTRA: Almidón de Maíz morado (<i>Zea Mays L</i>)
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 2020-12-01
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 2021-01-04

Examen Físico

COLOR: Morado-rosa
OLOR: Inoloro.
ASPECTO: Polvo.

Examen Microbiológico

Almidón de cáscara de Maíz Morado			
Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	<10	10
Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>)	UFC/g	<10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	1000-5000	Ausencia

Valores de Referencia tomados de Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca (FAO).

Atentamente

Dra. Gina Álvarez Reyes

RESPONSABLE TÉCNICO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Heidy Maribel Erazo Hidalgo</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs</i>

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente
por LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, h=RIOBAMBA,
serialNumber=9602786
974, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.10.12
11:39:43 -05'00'



1082-DBRA-UTP-2021