



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL
TERMOPLÁSTICO A PARTIR DE POLIVINIL ALCOHOL Y
ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) COMO
PELÍCULA DE MANTILLO AGRÍCOLA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTOR: GEOVANNA DANIELA CAMPAÑA FLORES

DIRECTOR: Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Geovanna Daniela Campaña Flores

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

Yo, Geovanna Daniela Campaña Flores, 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, 4 de Septiembre de 2021

Geovanna Daniela Campaña Flores

172384168-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL TERMOPLÁSTICO A PARTIR DE POLIVINIL ALCOHOL Y ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) COMO PELÍCULA DE MANTILLO AGRÍCOLA**, realizado por la señorita: **GEOVANNA DANIELA CAMPAÑA FLORES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias MSc. Ph.D PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Pirmado electrónicamente por: FABIAN ERNESTO	2021-09-17
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Pirmado electrónicamente por: MARCO RAUL CHUIZA	2021-09-17
Ing. Hanníbal Lorenzo Brito Ph.D MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA DN: C=EC, O=SECURITY DATA S.A. 2, OU=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, CN=AUTORIDAD DE CERTIFICACION SUBCA-2 SECURITY DATA Razón: Soy el autor de este documento Fecha: martes, 26 de octubre de 2021 10:38:18 p. m.	2021-09-17

DEDICATORIA

Con mi más sincero amor este trabajo va dedicado a mis padres Isaac Campaña y Sandra Flores que ha sido la mayor bendición que Dios me ha dado, por sus constantes motivaciones para seguir adelante y gracias a su apoyo incondicional muchos de los logros incluido este es una realidad. A mis hermanos Juan, Mateo y Evelyn que han sido mis principales motivaciones para culminar mi carrera.

Daniela

AGRADECIMIENTO

Para empezar expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por brindarme cada día de mi vida y las oportunidades de formarme como la mujer que ahora soy, así mismo expreso mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser la universidad que me abrió sus puertas para poder realizar mis estudios.

Agradezco también al Ing. Marco Chuiza e Ing. Hannibal Brito por ser parte del desarrollo de esta investigación mediante sus conocimientos y sugerencias, gracias por su tiempo y esfuerzo.

Por último quiero agradecer a cada una de las personas que fueron parte de mi vida, especialmente a mis amigos que son parte de mi corazón, gracias por cada una de las experiencias vividas.

Daniela

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	1
1.1.	Identificación del problema	1
1.2.	Justificación de la investigación	1
1.3.	Objetivos de la investigación	2
1.3.1.	<i>General</i>	2
1.3.2.	<i>Específicos</i>	2

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	3
2.1.	Antecedentes de la investigación	3
2.2.	Marco conceptual o glosario	4
2.2.1.	<i>Polímeros biodegradables</i>	4
2.2.1.1.	<i>Polímeros biodegradables naturales</i>	4
2.2.1.2.	<i>Polímeros biodegradables sintéticos</i>	5
2.2.1.3.	<i>Mezclas de biopolímeros biodegradables</i>	5
2.2.2.	<i>Fréjol negro</i>	5
2.2.2.1.	<i>Origen del fréjol negro</i>	5
2.2.2.2.	<i>Cultivo del fréjol negro</i>	5
2.2.2.3.	<i>Características botánicas del fréjol negro</i>	6
2.2.3.	<i>Características microscópicas del almidón de fréjol</i>	7
2.2.4.	<i>Almidón</i>	7
2.2.4.1.	<i>Amilosa</i>	7

2.2.4.2.	<i>Amilopectina</i>	8
2.2.5.	Mantillo agrícola a base de almidón	8
2.2.6.	Almidón termoplástico	10
2.2.7.	Gelatinización	11
2.2.8.	Retrogradación	12
2.2.9.	Alcohol polivinílico	12
2.2.10.	Plastificantes	13
2.2.10.1.	<i>Glicerina</i>	14
2.2.11.	Método casting	14
2.2.12.	Fundamentos para la caracterización del termoplástico	14
2.2.12.1.	<i>Ensayo de tensión</i>	14
2.2.12.2.	<i>Determinación de la biodegradabilidad</i>	14
2.2.12.3.	<i>Análisis termogravimétrico</i>	15
2.2.12.4.	<i>Calorimetría diferencial de barrido</i>	15
2.3.	Planteamiento de las hipótesis	16
2.3.1.	Hipótesis general	16
2.3.2.	Hipótesis específicas	16
2.4.	Identificación de las variables	17
2.5.	Operacionalización de las variables	18
2.6.	Matriz de consistencia	20
2.7.	Tipo y diseño de la investigación	24
2.7.1.	Tipo de investigación	24
2.7.2.	Diseño experimental de la investigación	24
2.7.2.1.	<i>Primera etapa</i>	24
2.7.2.2.	<i>Segunda etapa</i>	24
2.7.2.3.	<i>Tercera etapa</i>	24
2.8.	Población de estudio	25
2.9.	Tamaño de muestra	25
2.10.	Selección de muestra	25
2.11.	Técnicas de recolección de datos	25
2.11.1.	Extracción del almidón de fréjol negro (vía húmeda)	25
2.11.2.	Caracterización del almidón	27
2.11.2.1.	<i>Humedad</i>	27
2.11.2.2.	<i>Ceniza</i>	28
2.11.2.3.	<i>Solubilidad</i>	28

2.11.2.4.	<i>pH</i>	29
2.11.2.5.	<i>Fibra</i>	30
2.11.2.6.	<i>Temperatura de gelatinización</i>	30
2.11.3.	Obtención del termoplástico	31
2.11.3.1.	<i>Formulaciones</i>	31
2.11.3.2.	<i>Elaboración del termoplástico</i>	33
2.11.4.	Caracterización del termoplástico	34
2.11.4.1.	<i>Ensayo de tracción</i>	34
2.11.4.2.	<i>Biodegradabilidad</i>	34
2.11.4.3.	<i>Calorimetría diferencial de barrido</i>	35
2.11.4.4.	<i>Análisis termogravimétrico</i>	36

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1.	RESULTADOS	37
3.1.1.	Resultados de la obtención del almidón	37
3.1.1.1.	<i>Datos obtenidos del proceso de extracción de almidón por vía húmeda</i>	37
3.1.1.2.	<i>Porcentaje de amilosa y amilopectina del almidón extraído</i>	40
3.1.2.	Resultados de la caracterización del almidón	40
3.1.2.1.	<i>Análisis sensorial del almidón extraído</i>	40
3.1.2.2.	<i>Análisis físico químicos y microbiológicos del almidón extraído</i>	41
3.1.3.	Resultados de la obtención del termoplástico	41
3.1.4.	Resultados de la caracterización del termoplástico	42
3.1.4.1.	<i>Ensayo de tracción basado en la norma INEN 2635</i>	42
3.1.4.2.	<i>Ensayo de biodegradabilidad</i>	43
3.1.4.3.	<i>Ensayo de análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido</i>	49
3.2.	Prueba de hipótesis	53
3.2.1.	Hipótesis 1	53
3.2.2.	Hipótesis 2	53
3.2.3.	Hipótesis 3	53
3.2.4.	Hipótesis 4	54
3.2.5.	Hipótesis 5	54
3.3.	Discusión de resultados	54

CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Taxonomía del fréjol negro.....	6
Tabla 2-2:	Composición química del fréjol negro.....	6
Tabla 3-2:	Identificación de las variables.....	17
Tabla 4-2:	Operacionalización de las variables.....	18
Tabla 5-2:	Matriz de consistencia.....	20
Tabla 6-2:	Diseño factorial 2 ² para la extracción del almidón.....	26
Tabla 7-2:	Técnica para extracción del almidón vía húmeda.....	26
Tabla 8-2:	Técnica para humedad.....	27
Tabla 9-2:	Técnica para ceniza.....	28
Tabla 10-2:	Técnica para solubilidad.....	28
Tabla 11-2:	Técnica para pH.....	29
Tabla 12-2:	Técnica para fibra.....	30
Tabla 13-2:	Técnica para determinar la temperatura de gelatinización.....	31
Tabla 14-2:	Formulaciones para obtención del termoplástico.....	32
Tabla 15-2:	Esquematización del diseño experimental.....	32
Tabla 1-3:	Datos del proceso de extracción del almidón vía húmeda.....	38
Tabla 2-3:	Porcentajes de rendimientos de los tratamientos para la extracción del almidón...39	39
Tabla 3-3:	Análisis de varianza del rendimiento obtenido del almidón de fréjol negro.....	39
Tabla 4-3:	Porcentaje de amilosa y amilopectina.....	40
Tabla 5-3:	Análisis sensorial del almidón de fréjol negro.....	40
Tabla 6-3:	Análisis físicos químicos y microbiológicos del almidón extraído.....	41
Tabla 7-3:	Resultados de las formulaciones para la obtención del termoplástico.....	41
Tabla 8-3:	Resultados de las propiedades de tracción de los termoplásticos.....	42
Tabla 9-3:	Resultados de biodegradabilidad en suelo por área de los termoplásticos.....	43
Tabla 10-3:	Resultados de biodegradabilidad a la intemperie por área de los termoplásticos...44	44
Tabla 11-3:	Resultados de biodegradabilidad en agua por área de los termoplásticos.....	45
Tabla 12-3:	Características visuales de las muestras de termoplástico.....	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2.	Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación de F ₄ y F ₅	43
Gráfico 2-2.	Biodegradabilidad en suelo de F ₄ y F ₅	44
Gráfico 3-3.	Biodegradabilidad en intemperie de F ₄ y F ₅	45
Gráfico 4-3.	Biodegradabilidad en agua de F ₄ y F ₅	46
Gráfico 5-3.	Termograma obtenido por análisis termogravimétrico, curva TGA y DTG para F ₄	50
Gráfico 6-3.	Termograma obtenido por análisis termogravimétrico, curva TGA y DTG para F ₅	51
Gráfico 7-3.	Termograma de DSC para F ₄	52
Gráfico 8-3.	Termograma de DSC para F ₅	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Características microscópicas del almidón de fréjol.	7
Figura 2-2.	Estructura de la amilosa	8
Figura 3-2.	Estructura de la amilopectina	8
Figura 4-2.	Películas para acolchado de MATER-BI, cultivos, período de utilización, condiciones agronómicas, área de utilización y duración.	10
Figura 5-2.	Representación esquemática de la transición de fase del almidón durante la gelatinización y retrogradación.	12
Figura 6-2.	Estructura del polivinil alcohol.	13
Figura 7-2.	Estructura de la glicerina.....	14
Figura 8-2.	Esquema del diseño factorial 2 ²	32
Figura 9-2.	Elaboración del termoplástico	33
Figura 10-2.	Metodología para el análisis calorimétrico.	35

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*)
- ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN
- ANEXO C:** PORCENTAJE DE AMILOSA Y DE AMILOPECTINA DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO
- ANEXO D:** OBTENCIÓN DE LAS FORMULACIONES MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS CENTURION **XVII**
- ANEXO E:** OBTENCIÓN DE LOS TERMOPLÁSTICOS
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN DEL TERMOPLÁSTICO
- ANEXO G:** ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FORMULACIÓN 4
- ANEXO H:** ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FORMULACIÓN 5
- ANEXO I:** REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE TGA Y DSC
- ANEXO J:** RESULTADOS FÍSICO QUÍMICO DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO
- ANEXO K:** RESULTADOS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO

RESUMEN

El desarrollo de un material termoplástico a partir de polivinil alcohol (PVA) y almidón de frejol negro (*Phaseolus vulgaris*) fue el objetivo de esta investigación la cual se desarrolló con un diseño experimental 2e2 donde se obtuvieron cinco formulaciones y se consideraron tres replicas para cada formulación, dando un total de 15 unidades experimentales. Para la obtención del termoplástico se ensayaron formulaciones a nivel de laboratorio con mezclas de PVA, almidón, plastificante y agua. De las formulaciones ensayadas la formulación 4 (F4) que contiene 3% de PVA, 7% de almidón y 3,5% de glicerina y la formulación 5 (F5) con 2% de PVA, 6% de almidón y 3,5% de glicerina fueron los termoplásticos con mejores características para su posterior evaluación. Dichos termoplásticos fueron caracterizados en términos de su comportamiento térmico mediante ensayos de análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) en donde los resultados obtenidos por TGA revelaron que la temperatura máxima degradación de F4 es 56,5 grados Celsius y para F5 de 62,8 grados Celsius, en el caso del DSC la temperatura de transición vítrea está comprendida entre los 50 y 80 grados Celsius para las dos formulaciones. Adicionalmente, se realizaron pruebas mecánicas a los termoplásticos en las que se concluyó que F4 es el más resistente con un esfuerzo máximo de 2,68MPa debido a que la formulación contiene mayor contenido de PVA. Finalmente, se realizaron ensayos de biodegradabilidad en suelo, intemperie y agua en referencias a los resultados los termoplásticos exhiben una buena biodegradabilidad en los 30 días de exposición con un 51,75% de degradación para F4 y 53,05% para F5. Se recomienda realizar otros tipos de pruebas para la caracterización del termoplástico como espectroscopia infrarroja, microscopia electrónica de barrido.

Palabras clave: <TERMOPLÁSTICO>, <ALMIDÓN>, <POLIVINIL ALCOHOL>, <FRÉJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*)>, <ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO>, <CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO>.



1640-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this research consisted of the development of a thermoplastic material from polyvinyl alcohol (PVA) and black bean starch (*Phaseolus vulgaris*) which was developed with an 2e2 experimental design where five formulations were obtained and three replications were considered for each formulation, giving a total of 15 experimental units. To obtain the thermoplastic, formulations were tested at the laboratory level with mixtures of PVA, starch, plasticizer and water. Of the tested formulations, formulation 4 (F4) containing 3% of PVA, 7% starch and 3.5% glycerin and formulation 5 (F5) with 2% PVA, 6% starch and 3.5% glycerin were the thermoplastics with the best characteristics for subsequent evaluation. Such thermoplastics were characterized in terms of their thermal behavior through thermogravimetric analysis trials (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) where the results obtained by TGA revealed that the degradation maximum temperature of F4 is 56.5 degrees Celsius and for F5 62.8 degrees Celsius; in the case of DSC the glass transition temperature is between 50 and 80 degrees Celsius for both formulations. Additionally, mechanical tests were carried out on thermoplastics in which it was concluded that F4 is the most resistant with a maximum stress of 2.68MPa because the formulation contains a higher content of PVA. Finally, soil biodegradability, weather and water trials were carried out; in reference to the results, the thermoplastics exhibit good biodegradability within 30 days of exposure with 51.75% degradation for F4 and 53.05% for F5. Other types of tests are recommended for the thermoplastic characterization such as infrared spectroscopy, scanning electron microscopy.

Key words: <THERMOPLASTIC>, <STARCH>, <POLYVINYL ALCOHOL>, < BLACK BEAN (*Phaseolus vulgaris*)>, <THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS>, < DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY >.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Identificación del problema

El impacto ambiental de los desechos plásticos persistentes está generando una preocupación mundial generalizada y los métodos de eliminación son limitados. La incineración puede generar contaminación tóxica del aire, los vertederos satisfactorios son limitados y los métodos de reciclaje de los desechos mezclados son costosos y, a menudo, consumen mucha energía. Además, los recursos petrolíferos son finitos y se están volviendo limitados (Janssen y Moscicki, 2009, p.1).

Como la mayor parte de los plásticos están hechos a base de hidrocarburos fósiles estos en lugar de descomponerse se acumulan en el medio ambiente.

Un artículo de investigación “*Production, use, and fate of all plastics ever made*” los autores manifestaron que:

Hasta la fecha se estima que se han producido 8300 millones de toneladas métricas (Mt) de plásticos vírgenes. A 2015, se habían generado aproximadamente 6300 Mt de residuos plásticos, de los cuales alrededor del 9% habían sido reciclados, el 12% incinerado y el 79% acumulado en vertederos o en el medio natural. Si continúan los estilos actuales de fabricación y gestión de residuos, alrededor de 12.000 Mt de residuos plásticos estarán en vertederos o en la naturaleza para 2050 (Geyer et al., 2017: p.1).

De forma que, se necesita hallar materiales preferiblemente renovables, biodegradables e inofensivos para el medio ambiente. El almidón, uno de los polímeros naturales más económicos y más fácilmente disponibles, se puede procesar en materiales termoplásticos solo en presencia de plastificantes, bajo la acción del calor y el cizallamiento como un material biodegradable respetuoso con el medio ambiente.

1.2. Justificación de la investigación

Los plásticos biodegradables que tienen la posibilidad de degradarse de forma fácil en cualquier ámbito natural permanecen ganando interés público. Están diseñados para ser fácilmente destruidos y finalmente desaparecer en un entorno natural como los vertederos.

Los polímeros biodegradables son materiales que permiten la reducción de dióxido de carbono y son una alternativa al uso de derivados del petróleo. El cambio de materias primas a base de petróleo a aquellas que se extienden a partir de recursos naturales tiene un impulso internacional. De hecho, esta es una oportunidad para la investigación y la exploración de polímeros naturales.

El almidón es biodegradable porque puede ser metabolizado fácilmente por una amplia gama de organismos para garantizar la biodegradación de los plásticos una vez finalizada su vida útil, sin embargo, las películas a base de almidón son frágiles e hidrófilas, lo que limita su procesamiento y aplicación. Para superar estos inconvenientes, el almidón se puede mezclar con varios polímeros sintéticos y naturales. Los biopolímeros a base de materias primas renovables que son adecuados para la preparación de materiales biodegradables se basan principalmente en almidón y comprenden en particular almidón termoplástico, y también mezclas de polímeros a partir de almidón termoplástico y de otros componentes poliméricos degradables, tales como ácido poliláctico, polivinilo alcohol, policaprolactona, copoliésteres hechos a medida a partir de dioles alifáticos y de ácidos dicarboxílicos alifáticos o aromáticos, y también amidas de poliéster degradables, que, con almidón termoplástico en fusión anhídrica mediante reacciones de éster y / o como combinaciones de polímeros, forman nuevos materiales poliméricos degradables con una alta proporción de materias primas renovables. En general, la presencia de polivinil alcohol mejora la resistencia mecánica, la resistencia a la intemperie y la resistencia al agua del material de almidón con polivinil alcohol.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. General

Obtener y caracterizar un material termoplástico a partir de polivinil alcohol y almidón de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) como película de mantillo agrícola.

1.3.2. Específicos

- Obtener almidón de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*).
- Determinar el porcentaje de rendimiento del almidón extraído.
- Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del almidón de fréjol negro.
- Obtener el material termoplástico a partir de PVA y almidón de fréjol negro a nivel de laboratorio.
- Validar el termoplástico obtenido mediante pruebas mecánicas, biodegradabilidad, análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En los últimos años la implementación cada vez más grande de materiales plásticos de procedencia petroquímica está precisamente acompañada de repercusiones medioambientales. La monumental mayor parte de dichos desperdicios plásticos ni siquiera son biodegradables. Es por esta razón que los estudios para sustitutos de plásticos han ido en aumento, los estudios han ido desde alterar la estructura de los plásticos, hasta usar novedosas alternativas tecnológicas de sustitución como son los bioplásticos, ya que se obtienen primordialmente de recursos renovables y en algunas ocasiones sus propiedades son semejantes a los polímeros logrados desde el petróleo. En el caso de “Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: preliminares” mencionan que el almidón termoplástico (TPS) es en esencia almidón que ha sido modificado por la adición de plastificantes (agua, glicerina, sorbitol, etc.) y procesado bajo medios de presión y calor hasta destruir totalmente la estructura cristalina del almidón y formar un almidón termoplástico amorfo. Se usan varias técnicas para modificar el almidón, comúnmente usadas en polímeros sintéticos como son: extrusión, inyección, moldeo por compresión, entre otras (Luna et al., 2009: p.147).

Las propiedades más importantes que se valoran en cualquier material plástico sintético o biodegradable son las propiedades mecánicas, esfuerzo y elongación ya que permiten caracterizar el material y conocer la aplicación del plástico.

En el libro “*Biodegradable Polymers for Industrial Applications*” (Clarival y Halleux, 2005, p.7) menciona que Mater-Bi es una categoría de mezclas de almidón con PVA (polivinil alcohol) y es uno de los principales biopolímeros comercializados en Europa. Este es un copolímero de almidón termoplástico con plastificantes naturales. Esta familia de materiales es compostable. Las principales aplicaciones son para la producción de películas para mantillo, bolsas de la compra, envases de alimentos, pañales y productos de higiene personal. La capacidad de producción de películas de Mater-Bi es de unas 20.000 toneladas / año (2003). En Europa, cientos de ciudades utilizan bolsas Mater-Bi para la recogida de residuos orgánicos.

La hoja de mantillo biodegradable Mater-Bi garantiza a los cultivos los mismos beneficios que el mantillo tradicional. Puede utilizarse en diferentes condiciones ambientales y en cultivos con diferentes ciclos, desde lechuga hasta fresa.

Gracias a su completa biodegradabilidad, no tiene que ser recuperado y eliminado al final del ciclo del cultivo sino que se trabaja en el suelo donde es biodegradable por microorganismos, permitiendo así un ahorro en términos de tiempo y recursos.

Los bajos espesores utilizados (15, 12 y 20 micrones (μm)) garantizan un buen rendimiento por hectárea (MATER-BI, 2015).

En un trabajo realizado por (Musa y Hameed, 2019, p.1) "*Study of the mechanical properties of polyvinyl alcohol/starch blends*" se utilizó la técnica de moldeo en solución para preparar películas de mezcla de polímeros a base de poli (alcohol vinílico) / almidón de maíz. Se utilizó una máquina de tracción y un microscopio óptico para caracterizar las muestras preparadas. Se añadió al PVA el contenido de almidón con diferentes relaciones en peso (25, 30, 35, 40 y 50) % en peso. Los resultados muestran que la adición de almidón al PVA provoca una disminución significativa en el alargamiento y la resistencia a la tracción.

2.2. Marco conceptual o glosario

2.2.1. Polímeros biodegradables

Los polímeros biodegradables son polímeros que, bajo la acción de una enzima biológica, se descomponen en biomasa, CO_2 y agua en un período de tiempo determinado (según lo definido por un estándar de biodegradación) y en un entorno determinado (es decir, marino, compost, lodo anaeróbico) (Halley, 2005, p.1).

Los polímeros biodegradables se dividen en tres categorías:

2.2.1.1. Polímeros biodegradables naturales

El polímero natural incluye polisacárido (como celulosa, almidón), proteína (por ejemplo, seda), así como polihidroxicanoatos que son sintetizados por bacterias. Generalmente son producidos en la naturaleza por organismos vivos y son un recurso verdaderamente renovable. Los microorganismos o enzimas producidos por ellos provocan la descomposición de polímeros naturales en productos de bajo peso molecular que pueden ser metabolizados adicionalmente por microorganismos.

2.2.1.2. *Polímeros biodegradables sintéticos*

La mayoría de los polímeros sintéticos no son biodegradables. Por ejemplo, las enzimas que causan la descomposición del polietileno están ausentes en la naturaleza. Pero los poliésteres alifáticos son polímeros biodegradables bien conocidos que son susceptibles al ataque biológico. Los poliésteres alifáticos pueden hidrolizarse mediante lipasas y esterases, por ejemplo, la poli (epsilon-caprolactona) (PCL) puede ser degradada por *Pencillium* spp.

2.2.1.3. *Mezclas de biopolímeros biodegradables*

La mezcla de polímeros biodegradables es un método para reducir el costo total del material y ofrece un método para modificar tanto las propiedades como las tasas de degradación. Más recientemente ha habido un interés creciente en las mezclas biodegradables a base de almidón.

2.2.2. **Fréjol negro**

El fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) es la leguminosa de mayor área de cultivo y consumo en Ecuador. En los últimos años, su consumo ha aumentado levemente debido a sus propiedades nutracéuticas y beneficios positivos para la salud. Los frijoles son fuentes adecuadas de carbohidratos complejos, en los que el almidón es la fracción predominante (50-60 g / 100 g) (Ovando Martínez et al., 2011, p.1).

2.2.2.1. *Origen del fréjol negro*

No existe acuerdo y claridad sobre el número de especies que conforman el género *Phaseolus*. Su dificultad taxonómica se atribuye primordialmente a la intrincada morfología floral y a la notable proporción de nombres publicados en el género. El Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal estadounidense (NPGS), reconoce 81 especies aceptadas en su base de datos en línea llamada Red de Datos sobre Recursos de Germoplasma (GRIN). Aquel número aumenta hasta 117 una vez que se integran las subespecies y variedades botánicas.

2.2.2.2. *Cultivo del fréjol negro*

Actualmente, el cultivo de *P. vulgaris* es practicado primordialmente por pequeños agricultores en Latinoamérica, Caribe, África y Asia, quienes abarcan el 77% del total de la producción mundial. Se cultiva en las más distintas condiciones, a partir de los 52° latitud norte a los 32°

latitud sur, y a partir del grado del océano hasta bastante más de 3000 m de elevación en zonas donde no hay peligros de heladas.

En Ecuador se encuentra distribuido en varias provincias, entre valles y estribaciones de cordillera, a altitudes de entre 1 000 m y 2 700 m. Las provincias donde se cultiva son: Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Azuay, Loja, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar y Cañar (FAO, 2018, p.8).

2.2.2.3. Características botánicas del fréjol negro

Tienen entre 3,2 cm y 11 cm de largo, 3 cm a 8 cm de ancho, ápice agudo, y base redondeada a truncada; son membranosas y escasa a densamente pubescentes. El fruto es el ovario desarrollado en forma de vaina con dos suturas que unen las dos valvas: la sutura dorsal o placentar y la sutura ventral. Las semillas se incorporan a las valvas en forma alterna sobre la sutura placentar. Las vainas son principalmente glabras o subglabras con pelos bastante pequeños. Tienen la posibilidad de ser de diferentes colores, uniformes o con rayas (FAO, 2018, p.9).

Tabla 1-2: Taxonomía del fréjol negro.

No.	CARACTERÍSTICAS	
1	REINO	Plantae
2	DIVISIÓN	Magnoliophyta
3	CLASE	Magnoliatae
4	ORDEN	Fabales
5	FAMILIA	Fabaceae
6	SUBFAMILIA	Faboideae
7	TRIBU	Phaseoleae
8	GÉNERO	<i>Phaseolus L.</i>
9	ESPECIE	<i>vulgaris L.</i>

Fuente: (CONABIO, 2009, p.1).

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

Tabla 2-2: Composición química del fréjol negro.

FRÉJOL NEGRO			
Composición por cada 100 g de parte comestible			
No.	COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD
1	Proteínas	g	24,30
2	Carbohidratos	g	45,84

3	Fibra	g	23,67
4	Cenizas	g	4,35
5	Sodio	mg	11,50
6	Calcio	mg	132,32
7	Fósforo	mg	484,50
8	Magnesio	mg	200,49
9	Hierro	mg	8,04
10	Potasio	mg	1773,04
11	Zinc	mg	3,34
12	Grasa total	g	1,85
13	Cobre	mg	1,02

Fuente: (FAO, 2018, pp, 273-274).

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.2.3. Características microscópicas del almidón de fréjol

Se proporcionan datos descriptivos del almidón de fréjol.

Name	Source	Granule size	Granule shape	Hilum	Striae	Fissures	Comments
French bean	<i>Phaseolus vulgaris</i>	30–50 μ m	Rounded or oval	Centric	Fairly marked	General, from hilum	

Figura 1-2. Características microscópicas del almidón de fréjol.

Fuente: (Moss, 1976, p.24).

2.2.4. Almidón

El almidón es un recurso natural biodegradable y ampliamente disponible, y constituye la principal fuente de reservas de carbohidratos en las plantas. Este polisacárido se encuentra en diferentes partes de las plantas y puede aislarse de semillas, frutos, hojas, tubérculos y raíces. Se considera un biopolímero principalmente por su origen natural, constituido por dos componentes principales: amilosa y amilopectina. (Pérez Pacheco et al., 2016: p.86).

2.2.4.1. Amilosa

La amilosa contiene regiones amorfas y cristalinas. Forma una estructura lineal constituida por unidades repetidas de 1-4 α -glucosa. (Clarival y Halleux, 2005: p.4).

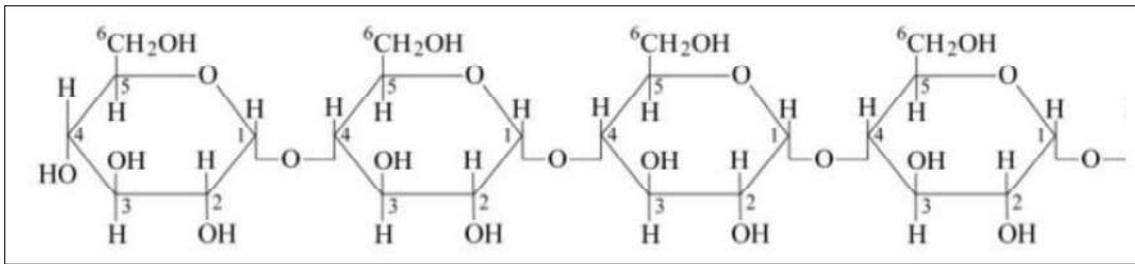


Figura 2-2. Estructura de la amilosa

Fuente: (Halley, 2005, p.146).

2.2.4.2. Amilopectina

Es un polímero muy ramificado que contiene cadenas laterales cortas de 30 unidades de glucosa unidas a cada 20 a 30 unidades de glucosa a lo largo de la cadena. Las moléculas de amilopectina pueden contener hasta dos billones de unidades de glucosa.

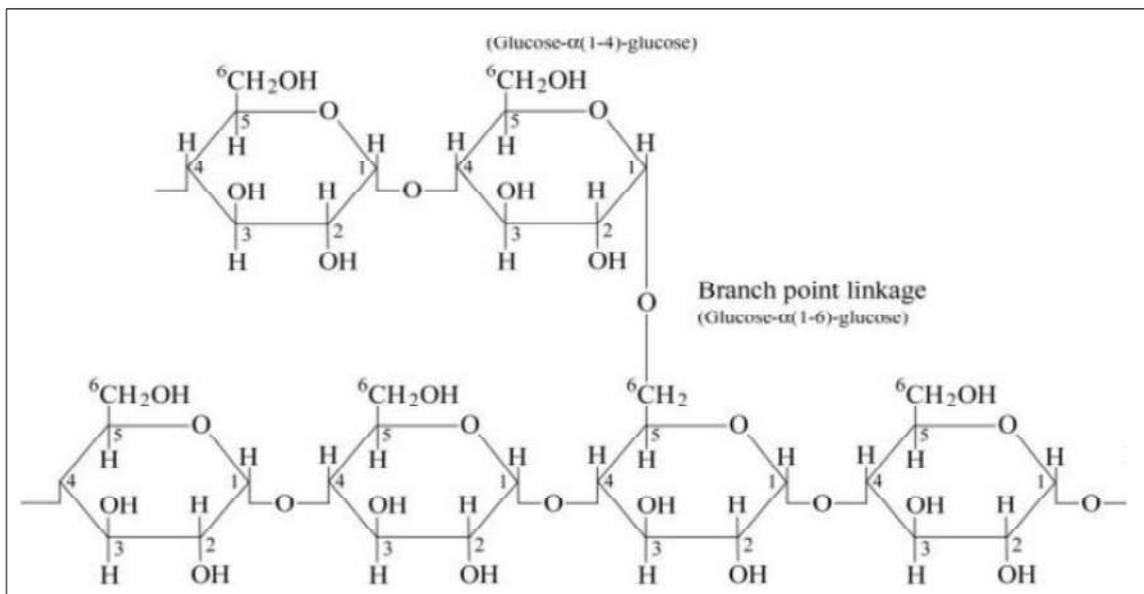


Figura 3-2: Estructura de la amilopectina

Fuente: (Halley, 2005, p.146).

2.2.5. Mantillo agrícola a base de almidón

Esta iniciativa se describe como películas agrícolas de acolchado degradables. Más específicamente, esta iniciativa se refiere a películas de acolchado que son invariables a las situaciones de intemperie durante un período establecido y luego se descomponen rápidamente.

El uso de películas agrícolas para matillo ha aumentado los últimos años entre los cultivos más comunes que utilizan estos mantillos están las verduras, tomates y fresas. Los principales beneficios del mantillo son facilitar control de malezas, para la producción temprana de cultivos este mantillo calienta el suelo y reducir la lixiviación de nutrientes. El plástico más utilizado es el polietileno sin embargo, este debe ser quemado cuando se lo retira al final de cada cosecha lo que genera contaminación con esto surge la necesidad de un mantillo que se descomponga al final de la temporada de cultivo. La vida del mantillo va a depender del cultivo individual como por ejemplo se estima que para el cultivo de tomates esta película debe permanecer intacta durante unos 3 a 4 meses, para lechugas, rábanos y otros cultivos la película solo debe durar semanas.

Un claro ejemplo de un film de acolchado agrícola es el que se realiza por MATER-BI la cual es una familia de materiales termoplásticos completamente biodegradables y compostables desarrollados para proporcionar una solución de bajo impacto medioambiental y resolver problemas de aplicación específicos en diferentes sectores como, por ejemplo, recogida selectiva de la fracción orgánica de los residuos, embalajes, catering, higiene, agricultura, entre otros.

El plástico convencional crea un residuo en el campo lo que afecta las propiedades del suelo por eso el uso de plásticos biodegradables es una solución a los residuos. (MATER-BI, 2018)

MATER-BI se compone de materias primas renovables de origen vegetal como almidones de diferentes cultivos (por ejemplo, maíz, otros cereales, patata) y aceites vegetales. Para su uso en la agricultura, se han desarrollado tipos específicos de MATER-BI que son óptimos para fabricar diferentes productos, entre los que se encuentran los film para el acolchado de los suelos.

El film de MATER-BI tiene propiedades mecánicas y características de uso similares a las de las películas de plástico tradicional, como se ha demostrado a lo largo de más de 10 años de investigación, desarrollo y uso comercial en el campo.

Gracias a la versatilidad de las características que ofrece la familia de bioplásticos MATER-BI utilizados para aplicaciones en agricultura, las películas para acolchado se pueden utilizar en diferentes condiciones medioambientales, para el cultivo de numerosas especies vegetales y en diferentes épocas del año. La selección del tipo de material depende en primer lugar del clima, de la duración del ciclo de producción y de las condiciones de cultivo (al aire libre o cultivo protegido). Las películas para acolchado de MATER-BI se han optimizado para las características concretas requeridas: duración en el campo, mecanización, espesor, rendimiento agronómico (Novamont, 2018, p.11).

cultivo	período	técnica agronómica	área	duración (meses)
Hortalizas (solanáceas, cucurbitáceas)	Primavera - verano	Al aire libre/túnel	Italia, Grecia, España, Alemania, EE.UU., Australia	3 - 8
Calabacín	Primavera - verano	Al aire libre	Italia	3 - 5
Calabaza	Primavera - verano	Al aire libre	Italia, Alemania	4
Lechuga	Primavera - otoño	Al aire libre/túnel	Italia, Francia, Alemania	2 - 3
Solanáceas (tomate, pimiento, berenjena)	Primavera - verano	Al aire libre/túnel	Italia, España, Francia, Australia, EE.UU., Canadá	4 - 6
Melón	Primavera - verano	En túnel/pequeño túnel	Francia, Italia, Grecia	3 - 4
Melón, sandía	Primavera - verano	Al aire libre	Italia, Grecia	3 - 4
Esquejes	Primavera - verano	Al aire libre	Italia	6
Albahaca, perejil	Primavera - verano	Al aire libre	Italia, Francia	4
Patata	Primavera - verano	Al aire libre	Italia	4
col, repollo	Otoño - invierno	Al aire libre	Italia, España, Alemania	4 - 5
Cebolla, ajo	Primavera - verano	Al aire libre	Italia, Francia	6 - 8
Pepinos	Primavera - verano	Al aire libre/con TNT	Alemania	6
Maíz	Primavera - verano	Al aire libre	Italia, Canadá	4 - 6
Tomates para industria	Primavera - verano	Al aire libre	Italia, España	5
Fresas	Verano - primavera	Al aire libre con pequeño túnel/en túnel	Italia, España, Bélgica, Alemania	6 - 12
Vid	Desde Primavera/otoño	Al aire libre	Italia (norte y sur)	12 - 18
Pequeños frutos (frambuesas, arándanos)	Otoño/primavera	Al aire libre	Italia (norte y sur)	6 - 12

Figura 4-2: Películas para acolchado de MATER-BI, cultivos, período de utilización, condiciones agronómicas, área de utilización y duración.

Fuente: (Novamont, 2018, p.11).

2.2.6. Almidón termoplástico

El almidón termoplástico (TPS) es un material que se obtiene por la modificación estructural que se da dentro del gránulo de almidón cuando este es procesado con un bajo contenido de agua y la acción de fuerzas térmicas y mecánicas en presencia de plastificantes que no se evaporan fácilmente durante el procesamiento (Villada y Acosta, 2011, p.4).

Los termoplásticos son polímeros que pueden fluir cuando se calientan por encima de una temperatura de fusión o vitrificación. Sufren una deformación plástica, es decir, un flujo viscoso con una reología a menudo compleja debido a su gran masa molar, enredos, interacciones y ramas de cadena (Mitrus y Mościcki, 2011, p.95).

Los almidones son aplicables al procesamiento de termoplásticos, a diferencia de otros polisacáridos como la celulosa y varias gomas. El almidón es un biopolímero que es biodegradable, adecuado para materiales de embalaje ecológicos, siempre que se pueda formular y procesar fácilmente en formas utilizables. Los equipos de procesamiento tradicionales, como la extrusión y el termoformado, se pueden utilizar adaptados a las características específicas del almidón.

Una característica única de los almidones son sus propiedades de procesamiento térmico que son considerablemente más complejas que las de los polímeros convencionales, debido a que tienen

lugar múltiple reacciones químicas y físicas durante el procesamiento. Ejemplos de fenómenos que tienen lugar durante el procesamiento son: difusión de agua, expansión granular, gelatinización, descomposición, fusión y cristalización. De las transiciones de fase, la gelatinización es la más importante porque es el medio de conversión del almidón en un termoplástico. La temperatura de descomposición del almidón es más alta que su temperatura de fusión de pregelatinización. Se han adaptado técnicas de procesamiento convencionales, tales como extrusión, moldeo por inyección, moldeo por compresión, termoformado y extrusión reactiva, para procesar almidón termoplástico.

A diferencia de los termoplásticos sintéticos como los polietilenos, son las moléculas de almidón ramificadas, amilopectina, las que cristalizan como hélices dobles en los gránulos de almidón nativo. Con polietileno, la cadena lineal o los segmentos de cadena lineal cristalizan y las ramas se excluyen de los cristales. La amilosa lineal reside en regiones amorfas entre los cristales. Por lo tanto, la amilosa es más soluble en agua porque se puede extraer de regiones amorfas. Al igual que los termoplásticos sintéticos, los almidones con alto contenido de amilosa tienen una reología más adecuada para el procesamiento por extrusión. Las moléculas lineales pueden fluir mejor que las ramificadas y la amilosa tiene una masa molar más baja aunque puede estar en el rango de $1000 \text{ kg} \cdot \text{mol}$, mientras que la amilopectina es muchas veces mayor. El almidón es como una forma polar de polietileno con enlaces de hidrógeno, con arquitecturas moleculares de tipo lineal y ramificado (o de baja densidad). Hay pocos polímeros sintéticos que puedan considerarse análogos del almidón.

2.2.7. Gelatinización

La gelatinización en presencia de calor y altas cantidades de agua se define como la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón. Los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa los granos se hinchan por la acción del calor, tienden a perder las propiedades que le confiere su estructura semicristalina y a una temperatura crítica forman un gel (Ruiz, 2006, p.13).

Es el proceso en el cual los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría a causa de su estructura altamente sistematizada, se caldean a temperaturas de 60°C a 70°C en donde inicia un proceso lento de absorción de agua en las regiones intermicelares deformes escasamente organizadas y asequibles (Guamán, 2015, p.16).

2.2.8. Retrogradación

La retrogradación del almidón es un proceso que ocurre cuando las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizados comienzan a reasociarse en una estructura ordenada (Rodríguez Sandoval et al., 2007, p.15). Es un proceso de transformación que ocurre cuando el almidón gelatinizado es almacenado a temperatura ambiente o en frío. Las moléculas de almidón gelatinizadas se aglomeran progresivamente mediante enlaces de hidrogeno, incrementándose la cristalinidad dentro del gel; resultando una estructura ordenada dentro del gel (Yotaro et al., 2006, p.13).

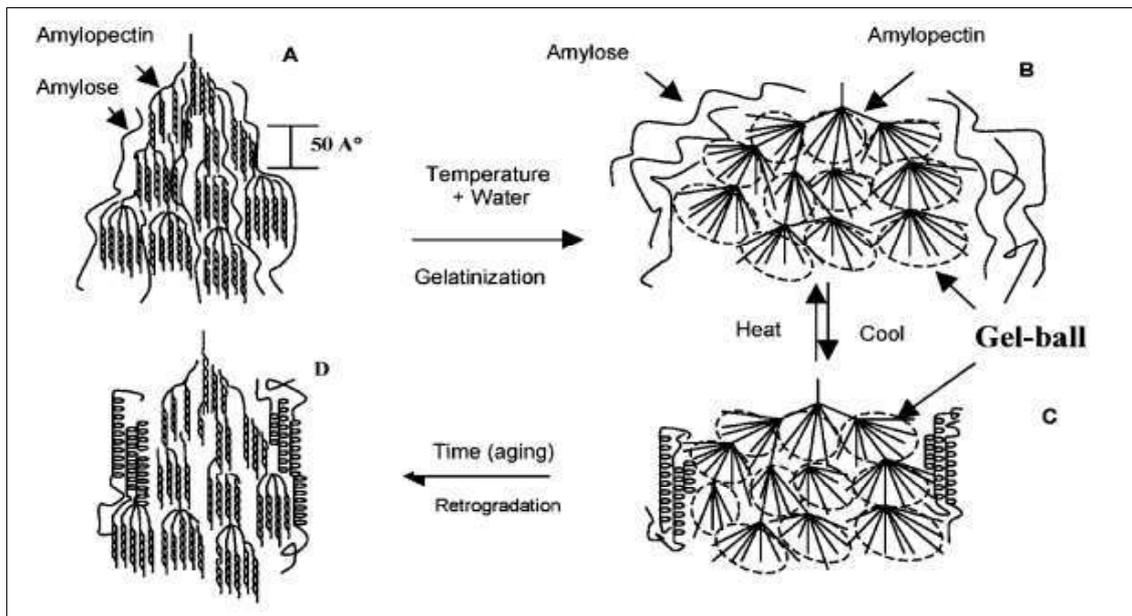


Figura 5-2. Representación esquemática de la transición de fase del almidón durante la gelatinización y retrogradación.

Fuente: (Long Yu, 2005, p.115).

2.2.9. Alcohol polivinílico

El alcohol polivinílico (PVA) es un polímero sintético lineal con un grupo hidroxilo en cada residuo de monómero. De los polímeros sintéticos, el PVA se parece más a la amilosa, y es uno de los pocos polímeros sintéticos que se biodegrada con rapidez razonable. Esta puede ser la razón por la que se ha utilizado a menudo PVA como polímero de mezcla para almidón. El PVA es cristizable, sin embargo, no tiene ramificaciones, al menos no en la medida de la amilopectina para la que no existe un polímero análogo sintético. Mientras que en el gránulo de almidón es la amilopectina la que cristaliza, después de la formación del almidón amorfo es la amilosa lineal la

que cristaliza. Esto implica que el polímero lineal, amilosa, forma los cristales cinética y termodinámicamente más estables.

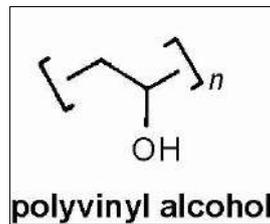


Figura 6-2. Estructura del polivinil alcohol.

Fuente: (Flieger et al., 2003, p.30).

El PVA es un polímero sintético termoplástico, biodegradable, no tóxico, con propiedades altamente hidrofóbicas, semicristalino, excelente capacidad de formación de película por fundición en solución, resistencia química, propiedades adhesivas y alta estabilidad térmica (Musa y Hameed, 2019, p.1).

Recientemente, se han realizado varios intentos para mezclar almidón con polímeros sintéticos biodegradables. Entre estos polímeros se encuentra el PVA porque es bien conocido como polímero biodegradable sintético y posee excelentes propiedades mecánicas. Se ha informado de su biodegradabilidad en diversos entornos microbianos y el PVA es una de las mejores opciones para mezclar con almidón. Hay mucho interés en mezclar almidón con PVA porque las mezclas de almidón / PVA han demostrado una excelente compatibilidad (Azahari, Othman y Ismail, 2011, p.16). El PVA tiene las ventajas de una buena formación de película, una fuerte conglutinación y una alta estabilidad térmica.

El PVA combina una alta resistencia a la tracción con la facilidad de formación de la película y muestra excelentes características adhesivas y de unión. Puede estar parcialmente hidrolizado y por tanto tener una mejor adhesión a superficies hidrófobas, aumentando su resistencia al agua al aumentar la hidrólisis (Flieger et al., 2003, p.30).

2.2.10. Plastificantes

Las películas fabricadas de almidón son frágiles cuando estas están en ausencia de aditivos es por eso que los plastificantes son sustancias poco o nada volátiles que se añaden a un polímero con el que son compatibles con el objetivo de mejorar su procesabilidad, flexibilidad y elasticidad (Romero López, 2018, p.7).

2.2.10.1. Glicerina

La glicerina, cuya estructura se observa en la figura 5-2 brinda humectación al polímero aparte de mejorar su procesabilidad, flexibilidad y elasticidad (Meneses et al., 2007, p. 61).

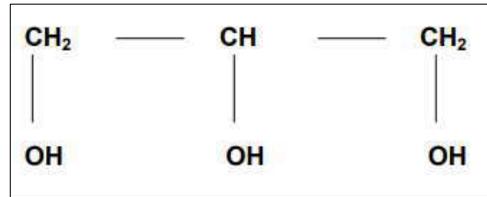


Figura 7-2. Estructura de la glicerina

Fuente: (Ruiz Avilés, 2005, p.16).

2.2.11. Método casting

Proceso mediante el cual un líquido es vertido en un molde y dejado para su reacción, curado o endurecimiento para formar un objeto rígido que reproduce la cavidad del molde este proceso se usa para formar películas a partir de un polímero formador en solución (Alemán et al., 2020, p.1).

2.2.12. Fundamentos para la caracterización del termoplástico

2.2.12.1. Ensayo de tensión

Es un ensayo estandarizado muy utilizado para determinar algunas propiedades mecánicas de los polímeros. Se toman muestras y se colocan en una máquina universal de ensayos, donde se aplica una carga a velocidad constante hasta llegar a la fractura (Ruiz Avilés, 2005, p.30).

2.2.12.2. Determinación de la biodegradabilidad

Para este análisis se basó en lo que menciona (Salmerón Herrera, 2019, p.9) con ciertas modificaciones, las muestras fueron analizadas mediante el programa ImageJ (Schneider, Rasband y Eliceiri, 2012) para obtener el área superficial de las muestras analizadas este análisis se complementa con la apariencia de las muestras durante los días de exposición. Los análisis se realizaron en suelo, intemperie y agua.

2.2.12.3. *Análisis termogravimétrico*

En esta técnica se detectan los cambios de peso que tienen lugar en una muestra sometida a un determinado tratamiento térmico. Los experimentos pueden realizarse midiendo el cambio de peso de la muestra al variar la temperatura a una velocidad constante, o bien, variando el tiempo y manteniendo constante la temperatura. El análisis resultante se denomina, respectivamente, dinámico e isotérmico (Ruiz Avilés, 2005, pp. 33-34).

Según el Análisis térmico de polímeros: folleto de aplicación (Toledo, 2021, p.15) una curva típica de TGA muestra 3 pasos significativos, donde el primero es relacionado con la pérdida de componentes volátiles (humedad, solventes, monómeros, etc.), el segundo con la descomposición del polímero y el último con los residuos finales (cenizas, relleno, fibras de vidrio, etc.)

Según (Skoog et al., 2008, p.866) los termogramas proporcionan información sobre los mecanismos de descomposición de diversas preparaciones poliméricas. Además, los patrones de descomposición son característicos de cada polímero y, en algunos casos pueden ser utilizados con finalidades de identificación.

2.2.12.4. *Calorimetría diferencial de barrido*

La calorimetría diferencial de barrido (DSC, Differential Scanning Calorimetry) permite el estudio de aquellos procesos en los que se produce una variación entálpica, por ejemplo determinación de calores específicos, puntos de ebullición y fusión, pureza de compuestos cristalinos, entalpías de reacción y determinación de otras transiciones de primer y segundo orden. En general, el DSC puede trabajar en un intervalo de temperaturas que va desde la temperatura del nitrógeno líquido hasta unos 600 °C. Por esta razón esta técnica de análisis se emplea para caracterizar aquellos materiales que sufren transiciones térmicas en dicho intervalo de temperaturas. La familia de materiales que precisamente presenta todas sus transiciones térmicas en ese intervalo es la de los polímeros. Por esta razón, el DSC se emplea fundamentalmente para la caracterización de estos materiales. En el campo de polímeros pueden determinarse transiciones térmicas como la temperatura de transición vítrea T_g , temperatura de fusión T_m ; se pueden hacer estudios de compatibilidad de polímeros, reacciones de polimerización y procesos de curado (González, 2011, p.1).

En el DSC, la muestra y la referencia se calientan independientemente, por lo que se puede medir directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas. Así, los datos se obtienen en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dt) en función de la temperatura. Con estos datos se pueden obtener temperaturas y entalpías de transición o de reacción. Algunas recomendaciones para la operación del DSC son las siguientes:

- La mayoría de sistemas de DSC, utilizan portamuestras de muestreo de aluminio que permiten el análisis de 10-20 μl de muestra. Para obtener un pico definido y con alta resolución se recomienda que la superficie de contacto entre el recipiente y la muestra sea la máxima, lo cual se logra si la muestra se prepara en forma de discos delgados, laminas o polvo fino; en materiales biológicos, la muestra frecuentemente se dispersa en agua.
- La calibración del instrumento se lleva a cabo con un metal de alta pureza, con su entalpía y su punto de fusión conocidos, generalmente se utiliza Indio ($\Delta H_{\text{fusión}} = 28.55 \text{ J/g}$; p.f.= 429,8 K).
- La determinación de la entalpía del proceso bajo estudio requiere la medición del área endo/exo térmica, lo cual puede ser difícil debido a que la línea base no es horizontal y el pico generalmente no es simétrico (Sandoval et al., 2004, p.46).

2.3. Planteamiento de las hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

La mezcla de polivinil alcohol con el almidón obtenido del fréjol negro (*phaseolus vulgaris*) se considera óptimo para obtener un material termoplástico que será utilizado como película de mantillo agrícola.

2.3.2. Hipótesis específicas

- Por medio del proceso de extracción por vía húmeda es posible extraer almidón de fréjol negro (*phaseolus vulgaris*).
- A través del porcentaje de rendimiento del proceso de extracción del almidón se verifica que el fréjol negro es aceptable para obtener almidón y que este será utilizado para obtener un termoplástico.
- Al realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del almidón obtenido este presenta propiedades de calidad dentro de los parámetros establecidos.
- Mediante las formulaciones adecuadas de almidón y PVA se obtendrá un termoplástico óptimo a nivel de laboratorio.
- Los termoplásticos obtenidos presentan propiedades de calidad para uso de mantillo agrícola mediante ensayos mecánicos, biodegradabilidad, análisis termogravimétricos y calorimetría diferencial de barrido.

2.4. Identificación de las variables

Tabla 3-2: Identificación de las variables.

Etapas del proceso	Variables Independientes	Variables Dependientes
Extracción del almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Método de extracción • Revoluciones por minuto • Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de rendimiento de almidón
Caracterización del almidón extraído		<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Cenizas • Solubilidad • pH • Fibra • Proteína • Temperatura de gelatinización • Carbohidratos totales • Amilosa • Amilopectina • Hongos • Levaduras y mohos • Coliformes totales
Elaboración del termoplástico	<ul style="list-style-type: none"> • Concentraciones • Agitación • Temperatura • Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Termoplástico óptimo
Caracterización del termoplástico obtenido		<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de tensión • Biodegradabilidad • Calorimetría diferencial de barrido • Análisis termogravimétrico

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 4-2: Operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Instrumentos de medición	Valor
Porcentaje de rendimiento	Se define como la cantidad de producto obtenido después de ciertas etapas.	Su cálculo es la relación entre el producto obtenido y la muestra de ingreso, multiplicado por 100.	Porcentaje	Balanza analítica	-
Método de extracción	Separación de un compuesto de otro.	Vía húmeda.	Porcentaje de rendimiento	Balanza analítica	Gramos
Tiempo	Es una magnitud que mide la duración de eventos en el espacio.	Esta medición se dará a través de un cronómetro.	Segundos	Cronómetro	Segundos
Caracterización fisicoquímica y microbiológico del almidón	Conocer las características generales del almidón mediante parámetros establecidos.	A través de la norma INEN 1456 se conocerá las características del almidón y mediante métodos físicos.	-	Norma INEN 1456: Reactivos para análisis. Almidón soluble (para iodometría). Métodos de ensayos	-
Temperatura	Es una magnitud referida a la idea de calor medible	-	Grados Celsius	Termómetro	°C

	por medio de un termómetro				
Caracterización del termoplástico	Conocer las características generales y más importantes que debe tener el termoplástico mediante ensayo de tensión, biodegradabilidad, calorimetría diferencial de barrido y un análisis termogravimétrico.	Ensayo de tensión, biodegradabilidad, calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico.	-	Máquina de ensayos universal, calorímetro diferencial de barrido, termo balanza.	-

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.6. Matriz de consistencia

Tabla 5-2: Matriz de consistencia.

Aspectos Generales		
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General
La mayoría de los plásticos no son biodegradables, así que podrían estar con nosotros cientos e incluso miles de años por consecuencia el mundo tiene un problema de plástico, por esto se busca la necesidad de crear un material	Obtener y caracterizar un material termoplástico a partir de polivinil alcohol y almidón de frijol negro (<i>phaseolus vulgaris</i>) como película de mantillo agrícola.	La mezcla de polivinil alcohol con el almidón obtenido del frijol negro (<i>phaseolus vulgaris</i>) se considera óptimo para obtener un material termoplástico que será utilizado como película de mantillo agrícola.

amigable con el medio ambiente.				
Aspectos Específicos				
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica	Variables de las hipótesis específicas	Técnicas de recolección de datos
Se desconoce si el fréjol negro tiene un porcentaje de almidón significativo.	Obtener almidón de fréjol negro (<i>Phaseolus vulgaris</i>).	H₁: Por medio del proceso de extracción por vía húmeda es posible extraer almidón de fréjol negro (<i>phaseolus vulgaris</i>).	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de almidón extraído. • Cantidad de amilosa y amilopectina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción por vía húmeda.
El método de extracción es desconocido por esta razón el rendimiento de almidón extraído puede ser bajo.	Determinar el porcentaje de rendimiento del almidón extraído.	H₂: A través del porcentaje de rendimiento del proceso de extracción del almidón se verifica que el fréjol negro es aceptable para obtener almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Método de extracción 	$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso del almidón obtenido}}{\text{Peso inicial del fréjol negro}} * 100$

		y que este será utilizado para obtener un termoplástico.		
¿El almidón obtenido de fréjol negro cumple con propiedades de calidad?	Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del almidón de fréjol negro.	H₃: Al realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del almidón obtenido este presenta propiedades de calidad dentro de los parámetros establecidos.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Cenizas • Solubilidad • pH • Fibra • Proteína • Temperatura de gelatinización • Carbohidratos totales • Amilosa • Amilopectina • Hongos • Levaduras y mohos • Coliformes totales 	<ul style="list-style-type: none"> • NTE INEN 1456 • Métodos físicos.
Se desconoce las proporciones ideales para la	Obtener el material termoplástico a partir de PVA y almidón de	H₄: Mediante las formulaciones adecuadas de	<ul style="list-style-type: none"> • Concentraciones de almidón, PVA y plastificantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos preliminares mediante el diseño experimental. • Observación

<p>mezcla de almidón/ PVA para que el termoplástico sea óptimo y de buena calidad.</p>	<p>fréjol negro a nivel de laboratorio.</p>	<p>almidón y PVA se obtendrá un termoplástico óptimo a nivel de laboratorio.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Experimentación
<p>Para validar este material termoplástico no se tiene un conocimiento amplio de los ensayos a realizar.</p>	<p>Validar el termoplástico obtenido mediante pruebas mecánicas, biodegradabilidad, análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido.</p>	<p>H5: Los termoplásticos obtenidos presentan propiedades de calidad para uso de mantillo agrícola mediante ensayos mecánicos, biodegradabilidad, análisis termogravimétricos y calorimetría diferencial de barrido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de tracción. • Temperatura de transición vítrea. • Estabilidad térmica del termoplástico. • Biodegradabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Información bibliográfica. • Interpretación de resultados.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.7. Tipo y diseño de la investigación

2.7.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental ya que desde la extracción del almidón hasta la elaboración del termoplástico se realizan experimentos para encontrar en el primer caso el mayor porcentaje de rendimiento en la extracción del almidón y en el segundo caso a través de las concentraciones elaborar un termoplástico de buena calidad.

2.7.2. Diseño experimental de la investigación

Con el fin de cumplir con el objetivo general de la investigación, el diseño experimental de manera general se desarrolló en 3 etapas las cuales se describen a continuación:

2.7.2.1. Primera etapa

Se llevó a cabo la extracción del almidón vía húmeda al ser secado se realizó la caracterización del almidón obtenido, se caracterizó mediante normas e instituciones.

2.7.2.2. Segunda etapa

Se llevó a cabo la experimentación para las formulaciones del termoplástico y se utiliza un diseño experimental 2^k en el cual se estudia el efecto de las concentraciones de almidón y el PVA para la elaboración del termoplástico.

2.7.2.3. Tercera etapa

En esta etapa al obtener el termoplástico se realiza la caracterización del mismo mediante ensayo de tensión, biodegradabilidad, análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido a las muestras más viables.

2.8. Población de estudio

La población de estudio para esta investigación corresponde a los proveedores de fréjol negro en las bodegas aledañas al mercado de la Condamine que residen en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo beneficiando así el comercio en esa zona.

2.9. Tamaño de muestra

Se adquirió 5 libras de materia prima en las bodegas aledañas del mercado de la Condamine, el alcohol polivinílico se adquirió 1Kg en la Casa del Químico ubicado entre Olmedo y Pichincha así también la glicerina que se utilizó como plastificante.

2.10. Selección de muestra

La selección de la muestra es no probabilística ya que en la extracción del almidón se desconoce la cantidad de materia prima que se podrá recaudar, esta cantidad se utilizó para elaborar el termoplástico.

2.11. Técnicas de recolección de datos

Para la obtención y caracterización de los gránulos de almidón de fréjol negro, se procede con el análisis sensorial de la materia prima el color, olor y sabor posteriormente se realiza un análisis físico químico y microbiológico del almidón extraído y de esta manera se determina las mejores variables de proceso para la obtención de los gránulos de almidón. (Brito et al., 2021, p.840).

La obtención de gránulos de almidón se lo realiza mediante operaciones unitarias como lo es la filtración (Brito, 2001, p.24), precipitación y sedimentación de los sólidos suspendidos de la solución de fréjol negro con agua, obtenida del proceso de mezclado y homogeneizado utilizando dos variables de proceso como son la velocidad, tiempo y finalmente el secado. (Brito, 2001^a, p17).

2.11.1. Extracción del almidón de fréjol negro (vía húmeda)

Para la extracción del almidón se realizó un diseño factorial 2² basándose en lo que dice (Brito et al., 2021, p.325) con ciertas modificaciones donde este consta de 2 factores: tiempo y velocidad de licuado; ambos factores tienen 2 niveles: 90 y 110 segundos y RPM A (velocidad media) y RPM

B (velocidad alta) respectivamente. El diseño consta, entonces, de 4 experimentos según las 4 combinaciones de los factores.

Tabla 6-2: Diseño factorial 2^2 para la extracción del almidón.

Tiempo	Velocidad
90	RPM A
110	RPM A
90	RPM B
110	RPM B

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

En la tabla 7-2 se establece la técnica para la extracción del almidón en vía húmeda.

Tabla 7-2: Técnica para extracción del almidón vía húmeda.

Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de ensayo
<ul style="list-style-type: none"> - Licuadora - Cuchillo - Vasos grandes transparentes - Tela filtrante - Cronómetro - Guantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Fréjol negro 	<ul style="list-style-type: none"> - Recepción de la materia prima. - Moler 2 400g de fréjol negro. - Remojar el grano molido durante 12 horas. - Para cada tratamiento, licuar 150g del grano molido con 1 000 mL de agua. - Se procede con la eliminación de impurezas mediante un filtro. - Se deja en reposo para que los sólidos suspendidos puedan sedimentarse, después se elimina el material que se encuentra 	Vía húmeda

		sobrenadando. – Realizar 3 lavados hasta que el agua se torne clara. – Secar la cantidad de almidón extraído al ambiente. – Tamizar y empacar.	
Método de ensayo			
Basado en lo que dice (Brito et al., 2019, p.2).			

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.2. Caracterización del almidón

2.11.2.1. Humedad

Tabla 8-2: Técnica para humedad.

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	
Materiales	
<ul style="list-style-type: none"> – Balanza analítica – Estufa – Crisoles – Desecador – Almidón de fréjol negro 	
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> – Pesar alrededor de 5-10g de muestra. – Colocar la muestra en un horno a 105°C por un mínimo de 12 horas. – Enfriar la muestra en un desecador. – Pesar la muestra. – Repetir hasta peso constante. 	
Cálculos	
Resultado: $\% \text{ de humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$	
Método de ensayo	
Basado en la norma ISO 1666 con modificaciones adicionales	

Fuente: (AOAC, 1980)

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.2.2. Ceniza

Tabla 9-2: Técnica para ceniza.

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE CENIZA	
Materiales	
<ul style="list-style-type: none">– Almidón de fréjol negro– Balanza– Crisoles– Mufla– Desecador	
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none">– Pesar aproximadamente 1,0 g de almidón en un crisol de porcelana que ha sido previamente lavado, secado en un horno y pesado.– Colocar el crisol de porcelana con la muestra en la mufla e incinerar a 550 °C durante tres horas y media.– Enfriar el crisol y las cenizas en un desecador hasta tener peso constante.– Pesar el crisol con las cenizas y calcular la cantidad de cenizas.– Expresar los resultados como porcentaje de cenizas totales.	
Resultado:	
$Cenizas (\%) = \frac{Peso\ de\ las\ cenizas\ (g)}{Peso\ de\ muestra} * 100$	
En general, el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 2 por ciento.	
Método de ensayo	
Basado en la norma ISO 2171 (1980), con modificaciones adicionales.	

Fuente: (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.91).

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.2.3. Solubilidad

Tabla 10-2: Técnica para solubilidad.

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE SOLUBILIDAD	
Materiales	
<ul style="list-style-type: none">– Almidón de fréjol negro	

<ul style="list-style-type: none"> – Vaso de precipitación – Reverbero – Balanza analítica
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> – En un vaso de precipitación de 25 cm³ pesar 2g de muestra, añadir 5 cm³ de agua fría y agitar. – Transferir totalmente la suspensión sobre 100 cm³ de agua hirviendo contenida en un vaso de precipitación de 200 cm³, continuar la ebullición por aproximadamente 2 min. – Guardar la solución para determinación de pH.
Resultado:
El resultado será exitoso, solo si se observa una ligera opalescencia que se deberá mantener sin intensificar, después de un enfriamiento de la solución.
Método de ensayo
Basado en la norma NTE INEN 1456:1986

Fuente:(INEN, 2012b)

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.2.4. *pH*

Tabla 11-2: Técnica para pH.

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE pH
Materiales
<ul style="list-style-type: none"> – Almidón de fréjol negro – Potenciómetro
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> – Normalizar el medidor de pH a 25°C sumergiendo los electrodos en solución tampón pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura. – Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón. – Con el control correspondiente retornar el equipo a su posición de reposo. – Lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel suave absorbente. – Sumergir los electrodos en la solución según la solución guardada de la solubilidad que debe estar a 25°C. – Accionar el control de lectura y leer el pH.

Resultado: Considerar que la muestra cumple con el requisito si el pH obtenido se encuentra entre 5,0 y 7,0.
Método de ensayo
Basado en la norma NTE INEN 1456:1986

Fuente:(INEN, 2012b)

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.2.5. Fibra

Tabla 12-2: Técnica para fibra.

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE FIBRA
Materiales
<ul style="list-style-type: none"> – Almidón de fréjol negro – Balanza analítica – Papel filtro – Crisol
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> – Hervir 2-3 g de almidón durante una hora en 100 mL de ácido clorhídrico 0,4 por ciento. – Filtrar el líquido en un crisol filtrante, previamente pesado, provisto de papel filtro. – Lavar con agua caliente. – Secar el crisol a 105-110 °C hasta peso constante.
<p>Resultado: $Pulpa(\%) = \frac{[(Peso\ de\ crisol\ después\ de\ secado\ (g)) - peso\ de\ crisol\ vacío\ (g)] \times 100}{Peso\ de\ muestra\ analizada\ (g)}$</p> <p>Un almidón de buena calidad no excede el 0,3 por ciento de pulpa.</p>
Método de ensayo
Basado en la norma ISO 5498 (1981)

Fuente: (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.63).

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.2.6. Temperatura de gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

Tabla 13-2: Técnica para determinar la temperatura de gelatinización.

MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN
Materiales
<ul style="list-style-type: none">– Almidón de fréjol negro– Balanza analítica– Vaso de precipitación– Reverbero– Termómetro
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">– Pesar 10 g de almidón disolver en agua destilada y completar a 100 mL.– Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.– Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.– Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.– Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.– Leer la temperatura de gelatinización.
Cálculos
Registrar la temperatura cuando se hace gel.
Método de ensayo
Basado en lo establecido (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.72).

Fuente: (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.72).

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.3. Obtención del termoplástico

2.11.3.1. Formulaciones

Mediante bibliografía y haciendo a referencia a (Valencia et al., 2013, p.44) las formulaciones se experimentaron en el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias y mediante el programa Statgraphics Centurion XVII se trabajó con un diseño factorial 2^2 con un punto central y cuatro puntos factoriales como se indica en la figura 8-2.

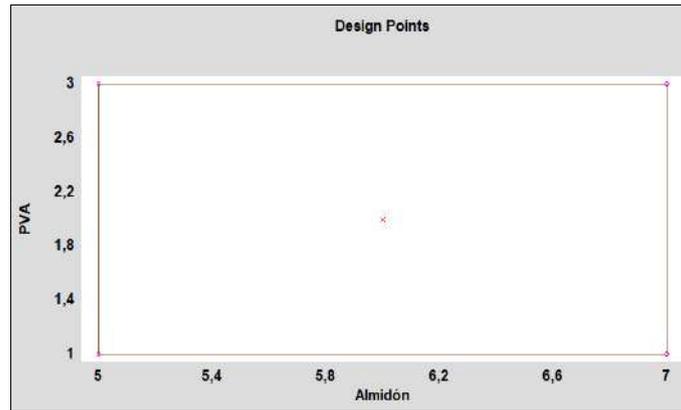


Figura 8-2. Esquema del diseño factorial 2^2 .

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

El programa generó 5 combinaciones o tratamientos cuyo esquema se exhibe en la Tabla 13-2 dando así las siguientes formulaciones planteados en base al diseño experimental factorial 2^2 .

Tabla 14-2: Formulaciones para obtención del termoplástico.

Formulación	Porcentaje en peso (g)		
	Glicerina	Almidón	PVA
F₁	3,5	7,0	1,0
F₂	3,5	5,0	1,0
F₃	3,5	5,0	3,0
F₄	3,5	7,0	3,0
F₅	3,5	6,0	2,0

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

En la Tabla 13-2, se muestra el esquema del diseño experimental para el termoplástico, en el que se consideraron tres replicas para cada formulación dando un total de 15 unidades experimentales.

Tabla 15-2: Esquemmatización del diseño experimental.

Formulaciones														
F ₁			F ₂			F ₃			F ₄			F ₅		
R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃

Leyenda:

F₁, F₂, F₃, F₄ y F₅: Formulaciones

R: Réplicas

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.3.2. Elaboración del termoplástico

Para la elaboración del termoplástico se siguió diferentes procedimientos como lo describe (Valencia et al., 2013, p.43) y (Encalada Flores, 2016) con ciertas modificaciones, a continuación en la figura 9-2 se describe el procedimiento que se siguió.

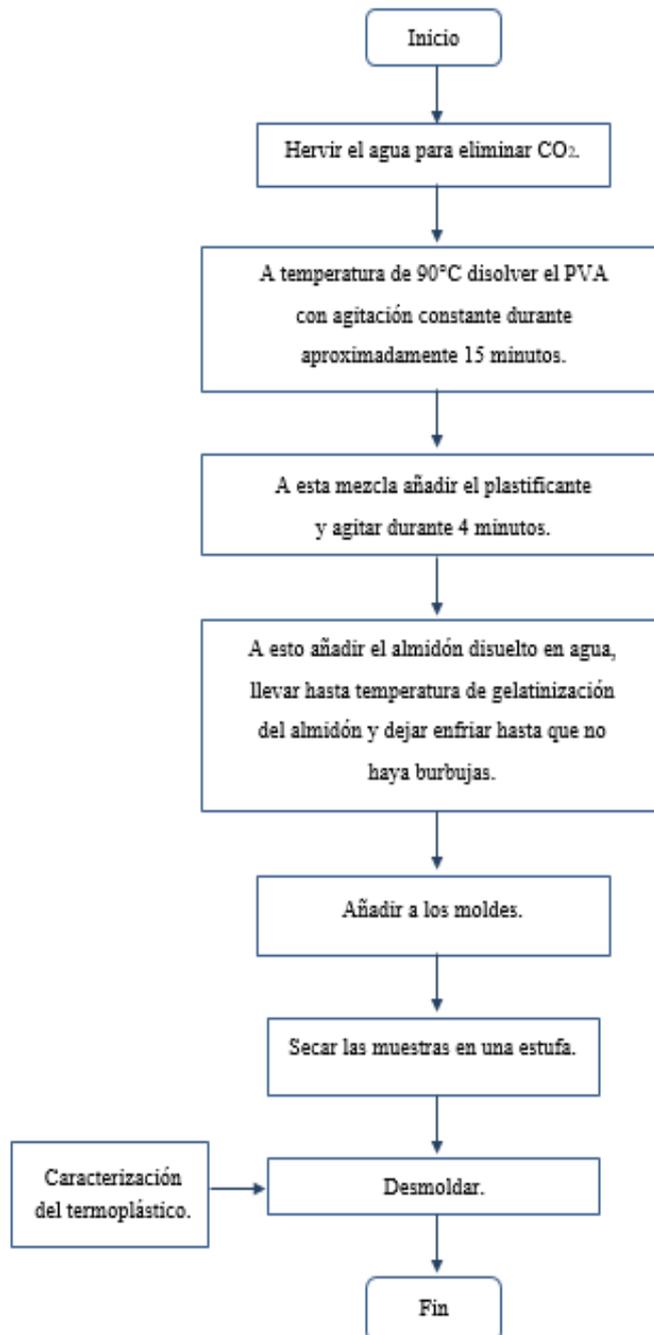


Figura 9-2. Elaboración del termoplástico

Realizado: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

2.11.4. Caracterización del termoplástico

2.11.4.1. Ensayo de tracción

Para este ensayo se utilizó el protocolo establecido en la norma INEN 2635, este ensayo se realizó de manera externa en un laboratorio de materiales.

El procedimiento que se dicta en la norma es:

- Seleccionar un intervalo de carga de tal forma que la falla en la probeta ocurra dentro de sus tercios superiores. Unas pocas corridas de prueba pueden ser necesarias para seleccionar una combinación adecuada de intervalo de carga y ancho de probeta.
- Medir el área transversal de la probeta en varios puntos a lo largo de su longitud. Medir el ancho con una precisión de 0,25 mm o más. Medir el espesor con una precisión de 0,0025 mm o más para probetas de menos de 0,25 mm de espesor y con una precisión del 1% o más para probetas de más de 0,25 mm, pero menos de 1,0 mm de espesor.
- Establecer la separación de mordazas inicial.
- Establecer la velocidad de separación de mordazas para alcanzar la velocidad de deformación deseada, en base a la distancia inicial entre las mordazas. Poner en cero el sistema de peso de carga calibrado, el indicador o indicadores de extensión y el sistema de registro.
- Colocar la probeta de ensayo en las mordazas de la máquina de ensayo, teniendo cuidado de alinear el eje longitudinal de la probeta con una línea imaginaria que une los puntos de fijación de las mordazas a la máquina. Apretar las mordazas uniforme y firmemente en la medida necesaria para reducir al mínimo el deslizamiento de la probeta durante el ensayo.
- Poner en marcha la máquina y registrar la carga versus la extensión.
- Cuando la longitud total entre las mordazas se utiliza como zona de ensayo, registrar la carga versus la separación de mordazas.
- Cuando un área de ensayo específica se ha marcado en la probeta, seguir el desplazamiento de las líneas límite de borde con respecto a cada una con separadores o algún otro dispositivo adecuado. (INEN, 2012a)

2.11.4.2. Biodegradabilidad

Para este ensayo los termoplásticos fueron cortados de forma cuadrada en un tamaño de 2cm*2cm, para el ensayo en suelo las muestras fueron colocadas a una profundidad de 2cm bajo

tierra, en el caso de intemperie las muestras fueron colocadas por encima de la tierra y el ensayo en agua las muestras se colocaron en un recipiente con agua.

Las muestras se observaron a los 2, 4, 6, 8, 12, 18, 25 y 30 días de exposición.

2.11.4.3. Calorimetría diferencial de barrido

Para el análisis de DSC este se desarrolló de la siguiente manera:

- Colocar la muestra en un crisol de aluminio, registrar y sellarlo con la tapa correspondiente, preparar el blanco de la misma manera.
- Comprobar que exista el flujo de nitrógeno necesario en la válvula conectada al equipo (DSC).
- Encender el equipo DSC, colocar dentro del horno la muestra y el blanco.
- Utilizando el computador, ingresar al software “DSC 3500 Sirius on USBc 1”
- Establecer el método respectivo, configurar el flujo de nitrógeno y la velocidad de calentamiento a 20°C/min que va desde los -5°C hasta los 500°C que comprenda avances isotérmicos y dinámicos representados en la rampa de temperatura de la figura 8-2.

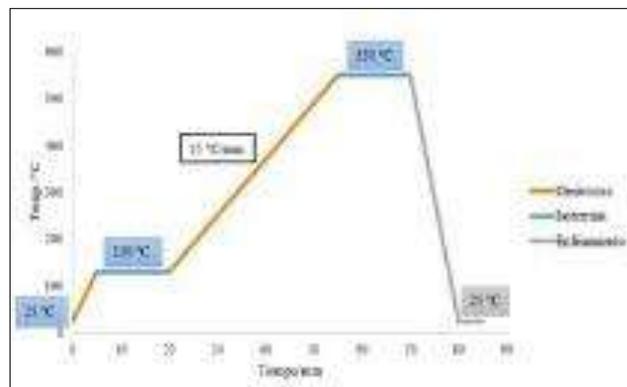


Figura 10-2. Metodología para el análisis calorimétrico.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

- Designar el título del ensayo en el software.
- Dar comienzo a la corrida al dar clic en “Start Measurement”, y una vez que el equipo se acondicione al Set Point inicial, automáticamente iniciara las mediciones.
- Al finalizar las mediciones, esperar a que el equipo se enfríe hasta 25°C y retirar los crisoles.
- Limpiar el interior del horno utilizando aire comprimido para continuar con los ensayos.

2.11.4.4. *Análisis termogravimétrico*

Para el procedimiento del TGA para las muestras fue el siguiente:

- Se preparan las muestras, donde se toma aproximadamente 20mg de muestra en tamaño de partícula muy pequeño donde se las coloca en un crisol de alúmina.
- Ingreso en la balanza del TGA y se acondiciona el método, en este caso se utilizó una velocidad de calentamiento de 3°C/min que va desde temperatura ambiente hasta los 650°C.
- Inicia el método donde empieza el calentamiento.
- Las mediciones de cambio de pesos se lo realiza cada segundo dentro de la balanza.
- Una vez terminado el análisis se obtiene curvas de diferencia de masa en función del tiempo y la temperatura.
- Se extrae los residuos del equipo y se limpia (Rodríguez y Villegas, 2012, p.28).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

3.1.1. *Resultados de la obtención del almidón*

3.1.1.1. *Datos obtenidos del proceso de extracción de almidón por vía húmeda*

Para la extracción del almidón se realizaron 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, los intervalos de tiempo fueron 90 segundos y 110 segundos con una velocidad de licuado medio (RPM A) y alto (RPM B).

En la tabla 1-3 se encuentran los datos utilizados para la extracción del almidón, la cantidad de materia prima utilizada para cada tratamiento fue de 150 g con 1000ml de agua, se realiza el promedio de los tratamientos obteniendo así el rendimiento de cada tratamiento y se observa cual es el más adecuado para la extracción del almidón.

Tabla 1-3: Datos del proceso de extracción del almidón vía húmeda.

No	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (mL)	PESO (g)				RENDIMIENTO (%)		TIEMPO SECADO (h)			
					PRODUCTO	ALMIDÓN			R	PROMEDIO		TOTAL	R	PROMEDIO
						(g)	R	PROMEDIO						
1	T1	RPM A : 90	R1	1000	150	13,603	17,580	70,321	9,0688	11,720	48			
2			R2			17,861			11,9074					
3			R3			20,048			13,3652					
4			R4			18,809			12,5394					
5	T2	RPM A : 110	R1			19,195	20,705	82,818	12,7966	13,803	48			
6			R2			19,849			13,2327					
7			R3			23,497			15,6644					
8			R4			20,278			13,5185					
9	T3	RPM B : 90	R1			20,155	18,760	75,040	13,4364	12,507	48			
10			R2			14,340			9,55973					
11			R3			19,901			13,2671					
12			R4			20,645			13,7633					
13	T4	RPM B : 110	R1			22,722	21,091	84,363	15,1477	14,060	48			
14			R2			21,003			14,0023					
15			R3			21,174			14,1163					
16			R4			19,463			12,9754					

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

Tabla 2-3: Porcentajes de rendimientos de los tratamientos para la extracción del almidón.

No.	TRATAMIENTO	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)
		FRÉJOL	ALMIDÓN	
1	T1	600	70,321	11,72
2	T2	600	82,818	13,80
3	T3	600	75,04	12,51
4	T4	600	84,363	14,06

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

Según lo realizado se ha descrito que el mejor tratamiento para la obtención del almidón es el tratamiento 4, donde este trabajó a velocidad alta de licuado con 110 segundos de licuado.

Tabla 3-3: Análisis de varianza del rendimiento obtenido del almidón de fréjol negro.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	2,451338206	1	2,45133821	0,44471673	0,51747224	4,747225347
Columnas	29,75675225	1	29,7567523	5,39840867	0,03852562	4,747225347
Interacción	0,629840641	1	0,62984064	0,11426439	0,74118069	4,747225347
Dentro del grupo	66,14560866	12	5,51213405			
Total	98,98353975	15				

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021

Como se indica en la tabla 3-3 no existen diferencias entre los tratamientos ya que el valor de la probabilidad es de 0,74118069 el cual es mayor a 0,05 del error permitido.

3.1.1.2. Porcentaje de amilosa y amilopectina del almidón extraído

Tabla 4-3: Porcentaje de amilosa y amilopectina.

Ensayo	Almidón de fréjol negro	Institución
Amilosa	36,09 %	INIAP
Amilopectina	63,91%	INIAP

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021

En la investigación realizada por (Miranda et al., 2013, p.23) “Caracterización funcional del almidón de fríjol zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) y cuantificación de su almidón resistente” se menciona que el almidón de fríjol *Phaseolus lunatus L.* contiene el 21,81% de amilosa y 78,19% de amilopectina, a comparación con los resultados obtenidos el almidón de fréjol negro tiene un 36,09% de amilosa y 63,91% de amilopectina y según (Tovar, 2008, p.15) con estos porcentajes el almidón entra en la clasificación de almidón normal.

3.1.2. Resultados de la caracterización del almidón

3.1.2.1. Análisis sensorial del almidón extraído

Tabla 5-3: Análisis sensorial del almidón de fréjol negro.

No.	ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO	
	Característica	
1	Olor	Neutro
2	Sabor	Insípido
4	Color	Blanco hueso
5	Textura	Granular

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

3.1.2.2. Análisis físico químicos y microbiológicos del almidón extraído

Tabla 6-3: Análisis físicos químicos y microbiológicos del almidón extraído.

No.	PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA / INSTITUCIÓN
1	Humedad	%	14,48	10-15	(INEN, ISO 1666, 2014)
2	Ceniza	%	0,78	máx.: 2	(INEN, ISO 3593, 2014)
3	Solubilidad		Ligera opalescencia	Ligera opalescencia	(INEN, 2012b)
4	pH		7,804	5-7	(INEN, 2012b)
5	Fibra	%	0,97	máx.:2	(INEN, ISO 6541, 2016)
6	Proteína	%	1,39	máx.:7	(INEN, ISO 1871, 2016)
7	Temperatura de gelatinización	°C	73	62-73	(Aristizábal y Sánchez, 2007)
8	Aerobios mesófilos	UFC/g	940	2-3x10 ⁵	(INEN, 2013)
9	Levaduras y mohos	UFC/g	3200	1000-5000	(INEN, 2013)
10	Coliformes totales	UFC/g	2300	10-300	(INEN, 2013)
11	Coliformes fecales	UFC/g	0	<10	(INEN, 2013)

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

3.1.3. Resultados de la obtención del termoplástico

En términos generales las características de los materiales termoplásticos se exhiben en la tabla 7-3 considerando facilidad de moldeo, formación de película, resistencia y si la película es quebradiza.

Tabla 7-3: Resultados de las formulaciones para la obtención del termoplástico.

Formulación	% Almidón	% PVA	Facilidad de moldeo	Forma película	Quebradiza	Resistencia
F ₁	7	1	No	No	Si	No
F ₂	5	1	Si	Si	Si	No
F ₃	5	3	No	No	Si	No
F ₄	7	3	Si	Si	No	Si
F ₅	6	2	Si	Si	No	Si

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

En base a los resultados mostrados en la tabla 7-3 se descartan las formulaciones 1, 2 y 3 por tener características que se no se consideran adecuadas para su evaluación. Las formulaciones 4 y 5 tienen características sobresalientes, se escogen estas para su posterior evaluación.

3.1.4. Resultados de la caracterización del termoplástico

Los ensayos de caracterización del termoplástico se realizaron considerando que las formulaciones 4 (F₄) y 5 (F₅) son las mejores.

3.1.4.1. Ensayo de tracción basado en la norma INEN 2635

Resultados de las propiedades de tracción de los termoplásticos F₄ y F₅.

Tabla 8-3: Resultados de las propiedades de tracción de los termoplásticos.

Muestra	Carga máxima (N)	Sección transversal(mm ²)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Porcentaje de elongación (%)
F ₄	3	1,12	2,68	1,575.E+01	2,30	25,83
F ₅	2,29	0,98	2,38	1,363.E+01	1,92	27,70

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

- *Interpretación de los resultados del ensayo de tracción para F₄ y F₅*

Según (Sin et al., 2010, p.225) en su trabajo de investigación se menciona que al agregar PVA a una mezcla de almidón con glicerol este aumenta su resistencia a la tracción y su porcentaje de elongación, en la tabla 8-3 y en el gráfico 1-3 se representa el informe de resultados para F₄ y F₅ en donde los termoplásticos reflejan buenos resultados en comparación con (Novamont, 2021) acerca sobre su film para acolchado agrícola, donde el valor del esfuerzo máximo es de 0,5MPa y el porcentaje de elongación es de 0,5% en este caso F₄ es el más resistente pero que tiene menor porcentaje de elongación lo que nos dice que a mayor contenido de PVA el termoplástico es más resistente debido a que el PVA ayuda al almidón a mejorar las características del material entre ellas la resistencia, en el caso de F₅ es el menos resistente con un mayor porcentaje de elongación y esto se debe a que el PVA en la mezcla disminuye.

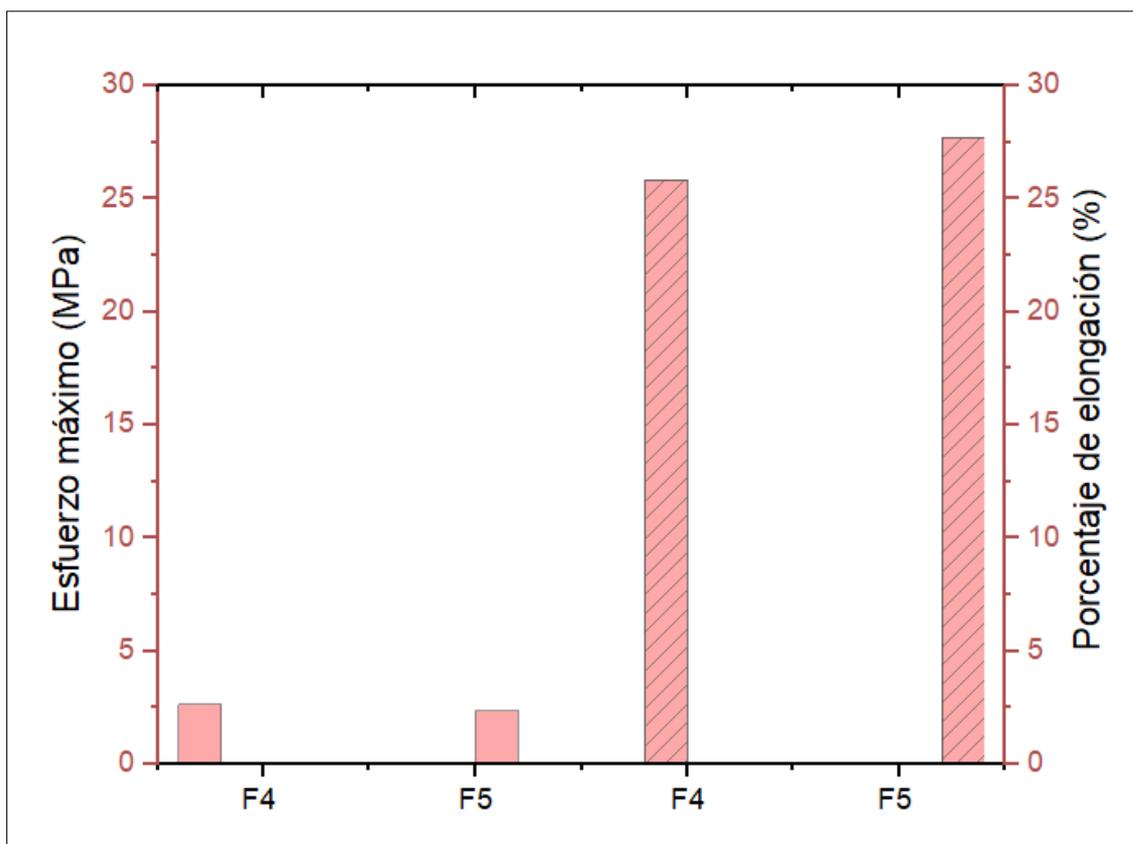


Gráfico 1-3. Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación de F₄ y F₅.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

3.1.4.2. Ensayo de biodegradabilidad

- *Suelo*

Se realizó este ensayo con una lámina de 2cm* 2cm de forma cuadrada la cual se colocó a una profundidad de 2cm bajo tierra.

Tabla 9-3: Resultados de biodegradabilidad en suelo por área de los termoplásticos.

Día	F ₄	F ₅
	Área (cm ²)	Área (cm ²)
1	4,274	4,343
4	4,712	---
6	4,327	---

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

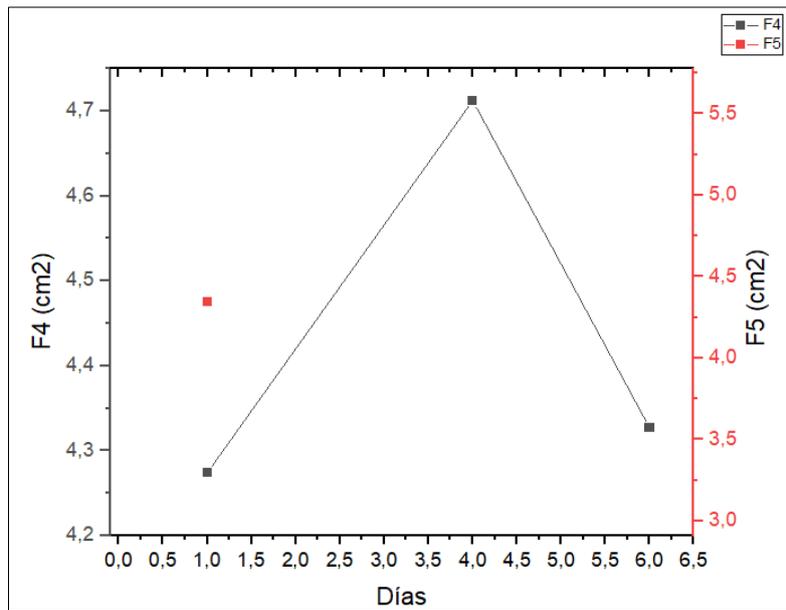


Gráfico 2-3. Biodegradabilidad en suelo de F₄ y F₅.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

- *Intemperie*

Se realizó este ensayo con una lámina de 2cm*2cm de forma cuadrada la cual se colocó por encima de la tierra.

Tabla 10-3: Resultados de biodegradabilidad a la intemperie por área de los termoplásticos.

Día	F ₄	F ₅
	Área (cm ²)	Área (cm ²)
1	4,635	5,393
4	4,524	4,862
6	3,886	4,065
8	3,624	3,336
12	4,281	3,579
18	4,044	4,255
25	3,143	3,585
30	2,236	2,532

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

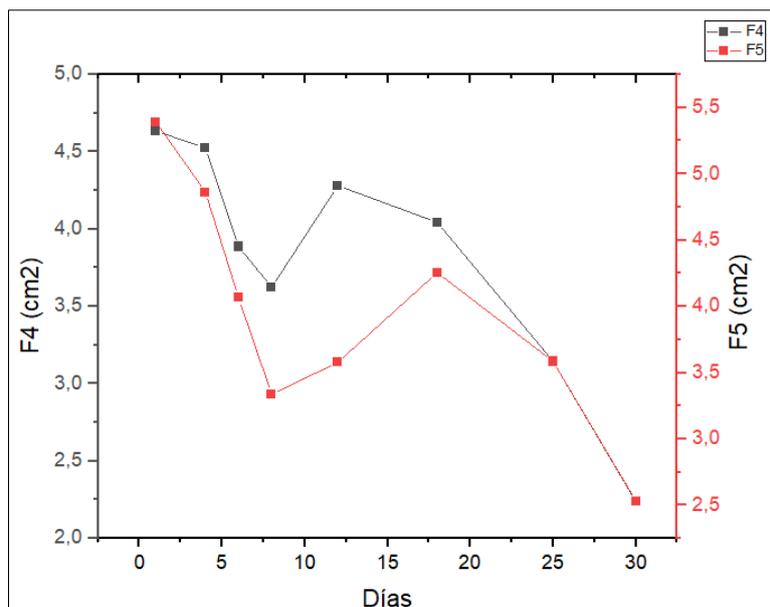


Gráfico 3-3. Biodegradabilidad en intemperie de F₄ y F₅.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

- *Agua*

Se realizó este ensayo con una lámina de 2cm*2cm de forma cuadrada la cual se colocó en agua.

Tabla 11-3: Resultados de biodegradabilidad en agua por área de los termoplásticos.

Día	F ₄	F ₅
	Área (cm ²)	Área (cm ²)
1	4,966	4,999
4	4,955	---
6	5,053	---
8	4,691	---
12	4,964	---
18	4,672	---
25	5,000	---
30	3,982	---

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

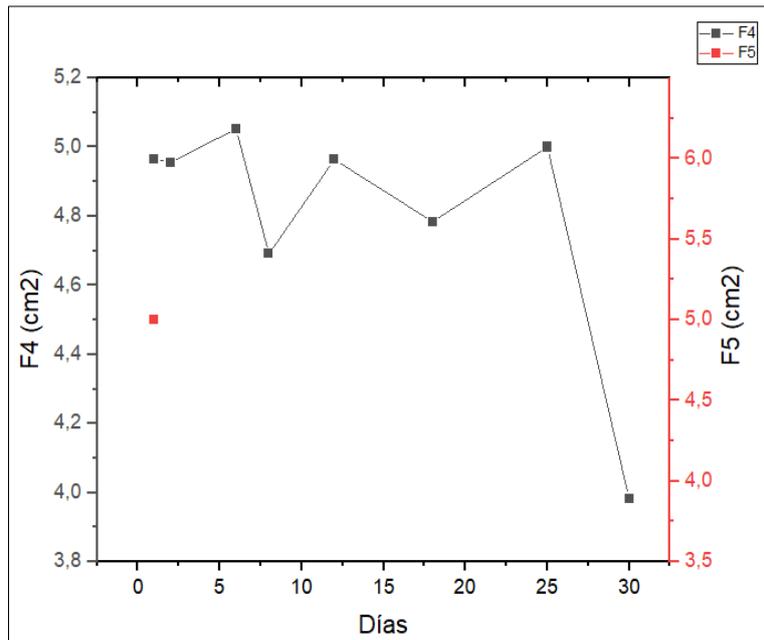


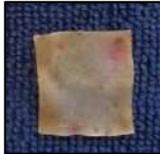
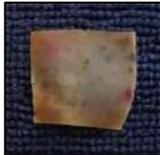
Gráfico 4-3. Biodegradabilidad en agua de F₄ y F₅.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

Se determinó el área superficial una vez que las muestras fueron limpiadas, en las tablas 9-3, 10-3 y 11-3 se evaluaron los distintos días de exposición en el suelo, intemperie y agua para hacer un seguimiento del grado de avance de la degradación de las muestras, en todos los casos se realizaron inspecciones visuales de las muestras como se indica en la tabla 12-3.

Tabla 12-3: Características visuales de las muestras de termoplástico.

	F ₄	F ₅
Suelo		
Día 1		
Día 4		

Día 6		---
Intemperie		
Día 1		
Día 4		
Día 6		
Día 8		
Día 12		
Día 18		
Día 25		

Día 30		
Agua		
Día 1		
Día 4		
Día 6		---
Día 8		---
Día 12		---
Día 18		---

Día 25		---
Día 30		---

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

- *Interpretación de resultados de biodegradabilidad en agua, intemperie y agua*

Un plástico biodegradable es aquel que sufre una degradación (un proceso donde la degradación resulta de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas) y que cumple con ciertos estándares como: ASTM D6400, ASTM D6868, ASTM D7081 (para EE. UU.) O EN 13432 (en la UE). Según estos estándares debe haber una degradación completa en menos de 6 meses. La norma americana ASTM 64000 establece que al menos un 60% del material plástico debe ser biodegradado en un periodo máximo de 180 días y la norma europea en 13432 es más estricta y esta menciona que el 90% del material debe ser biodegradado en un periodo de 180 días. (Martinez, 2021) por otra parte los resultados obtenidos para las muestras nos indican que F₄ es el material más resistente después de todos los ensayos realizados. Las características visuales de las muestras se observan en la tabla 12-3 en donde F₄ tiene mayor biodegradabilidad en suelo a los 6 días de exposición, en el caso de la intemperie a los 30 días tiene un porcentaje de degradación del 51, 75% y finalmente en agua a los 30 días tiene un porcentaje de degradación de 19,81% a todo esto es importante mencionar que las propiedades de la muestra van cambiando disminuyendo con el pasar del tiempo. En el caso de F₅ es el termoplástico con menos resistencia en suelo y agua, pues este a los pocos días de exposición se ha degradado completamente, en el caso de la intemperie tiene un porcentaje de degradación de 53,05%.

3.1.4.3. Ensayo de análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido

- *Interpretación de resultados del TGA para F₄ y F₅.*

En los gráficos 5-3 y 6-3 se pueden observar las curvas representativas del TGA y DTG resultante del ensayo, en donde los termogramas obtenidos muestran la estabilidad térmica del material. En la primera zona comprendida entre los 25°C hasta los 100°C aproximadamente existe una pérdida

de masa del 5,56% y 6,38% para F₄ y F₅ respectivamente, la cual representa las pérdidas de componentes volátiles del material, el termoplástico inicia un cambio en su composición a una temperatura de 56,5°C para F₄ y 62,8°C para F₅ lo que significa que los termoplásticos empiezan a perder sus propiedades mecánicas que se van acentuando en una segunda etapa comprendida entre los 100°C y 240°C en donde existe una pérdida de masa del 27,00% y 26,74% para F₄ y para F₅ respectivamente, en cuya zona el material pasa de un estado sólido a un estado viscoso (miel). Es importante mencionar que el pico máximo de temperatura observado en la curva DTG correspondiente a 289,6°C para F₄ y 295,9°C para F₅ es el punto donde ocurre la mayor degradación del material en donde se pierde 57,90% y 59,47% de masa para F₄ y F₅. Como mencionan los autores (Tudorachi et al., 2000, p.798) a mayor contenido de almidón es mayor el porcentaje de pérdida de masa y poniendo a comparación F₄ con F₅ la primera formulación tiene mayor pérdida por el hecho de que la concentración de almidón es mayor.

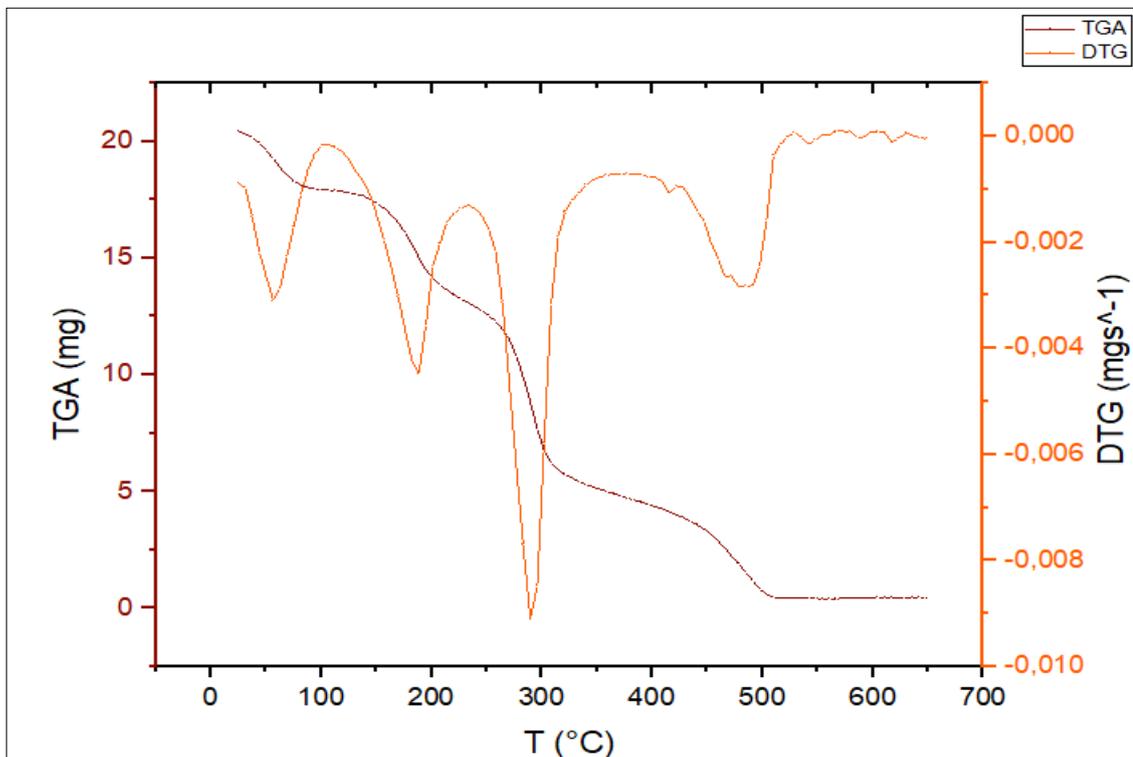


Gráfico 5-3. Termograma obtenido por análisis termogravimétrico, curva TGA y DTG para F₄.
Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

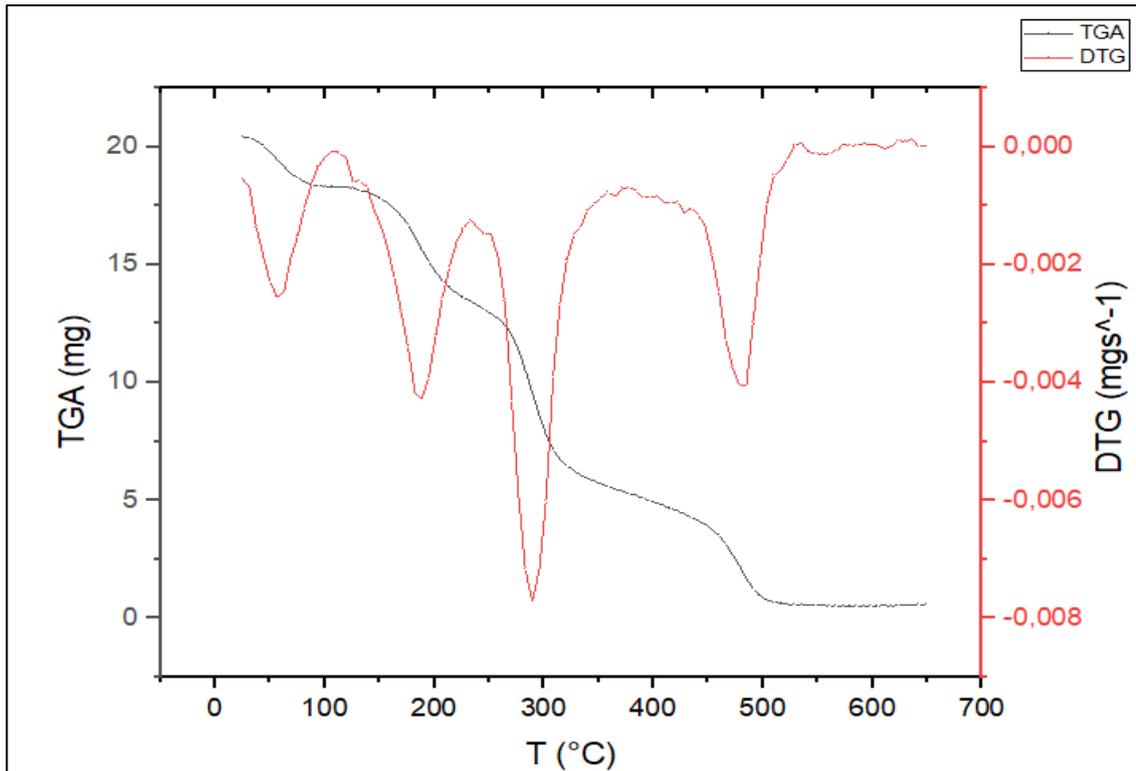


Gráfico 6-3. Termograma obtenido por análisis termogravimétrico, curva TGA y DTG para F₅.

Realizado por: Campaña Flores, Geovanna, 2021.

- *Interpretación de resultados del DSC para F₄ y F₅*

En los gráficos 7-3 y 8-3 corresponde al DSC, se aprecian los termogramas obtenidos para F₄ y F₅. En la zona comprendida entre los 50° y 80°C corresponde a la temperatura de transición vítrea (T_g) la cual se trata de un estado en donde ocurre una transición reversible cuando el material se calienta o se enfría, en el caso de los termoplásticos la T_g se relaciona con la región en la cual se puede moldear el material. Según un estudio realizado por (Sreedhar et al., 2005, p.1316) las mezclas de almidón con PVA tienen un rango de T_g que va desde los 60° hasta los 70°C. Cabe mencionar que (El-Sayed et al., 2011) detalla que los picos que se observan prominentes en las gráficas se debe a la liberación de energía y mas no a la temperatura de transición vítrea ya que esta última se aprecia como un leve salto en la curva y cuyo valor puede estar superpuesto por la mezcla de los componentes para la formación del termoplástico.

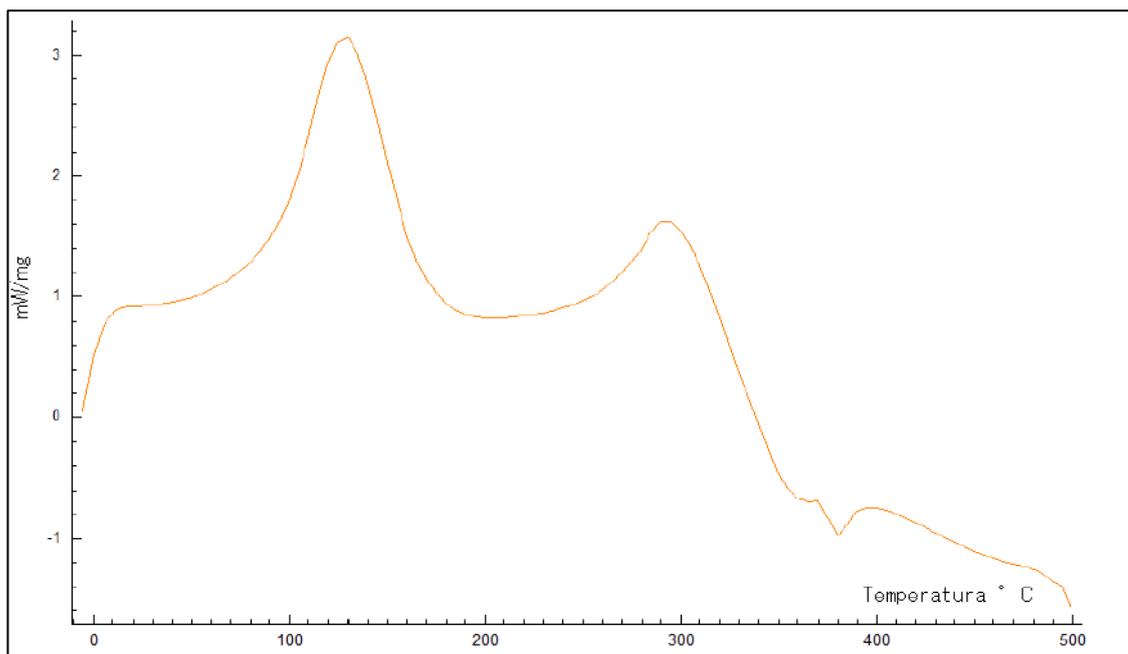


Gráfico 7-3. Termograma de DSC para F₄.

Realizado por: Campanha Flores, Geovanna, 2021.

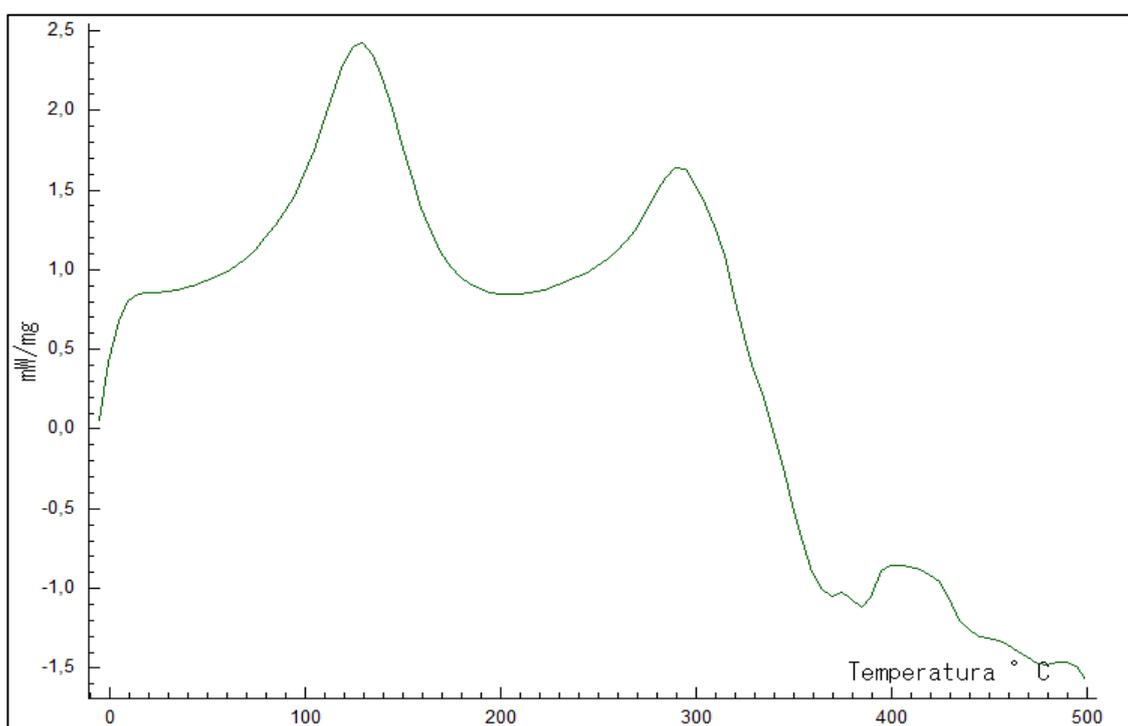


Gráfico 8-3. Termograma de DSC para F₅.

Realizado por: Campanha Flores, Geovanna, 2021.

3.2. Prueba de hipótesis

3.2.1. Hipótesis 1

*Por medio del proceso de extracción por vía húmeda es posible extraer almidón de fréjol negro (*phaseolus vulgaris*).*

A través del proceso de extracción húmeda que implica una etapa adicional de pre-molienda del grano cuando este está seco y remojo de 12 horas, se ha determinado que se obtuvo almidón de fréjol negro.

3.2.2. Hipótesis 2

A través del porcentaje de rendimiento del proceso de extracción del almidón se verifica que el fréjol negro es aceptable para obtener almidón y que este será utilizado para obtener un termoplástico.

Como se indica en la tabla 2-3 el tratamiento con mayor rendimiento de extracción fue el tratamiento 4 con un porcentaje de un 14,0604%, cantidad muy baja con respecto a otras fuentes alternativas para obtención de almidón, este bajo rendimiento se debe a que los granos a pesar de ser molidos hubo demasiado residuo y por ende baja cantidad de almidón.

3.2.3. Hipótesis 3

Al realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del almidón obtenido este presenta propiedades de calidad dentro de los parámetros establecidos.

En la tabla 6-3 se puede observar los análisis fisicoquímico y microbiológicos realizados al almidón de fréjol negro a través de pruebas de calidad. En general el almidón obtenido cumple con los requisitos dictados por las pruebas, en el análisis microbiológico en coliformes totales tenemos una cantidad de 2300 UFC/g la cual está fuera del rango y según (Radley, 1976, p.121) esto se debe a malas condiciones de almacenamiento, ya que el olor desagradable se detecta fácilmente e indica la presencia de especies bacterianas en el almidón.

3.2.4. Hipótesis 4

Mediante las formulaciones adecuadas de almidón y PVA se obtendrá un termoplástico óptimo a nivel de laboratorio.

A través del programa Statgraphics Centurion XVII mediante un diseño experimental 2^2 se formuló 5 tratamientos para la obtención del termoplástico de los cuales el tratamiento 4 y 5 fueron los más óptimos a nivel de laboratorio, en estos tratamientos se trabaja con las siguientes especificaciones: para F₄ el porcentaje de almidón en la mezcla fue de 7%, 3% de PVA, mientras que para F₅ se utilizó 3% de almidón y 2% de PVA y en las dos formulaciones el porcentaje de glicerina fue constante.

3.2.5. Hipótesis 5

Los termoplásticos obtenidos presentan propiedades de calidad para uso de mantillo agrícola mediante ensayos mecánicos, biodegradabilidad, análisis termogravimétricos y calorimetría diferencial de barrido.

Los termoplásticos obtenidos mediante experimentación en el laboratorio se consideran óptimos como película de mantillo agrícola para cultivos de ciclo corto, los resultados mediante los ensayos mecánicos nos indican que F₄ es el termoplástico más resistente con un valor de 2,68 MPa, ahora en el caso del ensayo de biodegradabilidad F₅ sufre la degradación mucho más rápido que F₄ esto se debe según a (Enríquez et al., 2012, p.186) menciona que mayor contenido de PVA el termoplástico tendrá mejores características de las cuales una es la resistencia por esta razón en la mezcla de F₅ el porcentaje de PVA es menor que en F₄ y finalmente los análisis de TGA y DSC revelaron que los termoplásticos presentan temperaturas de descomposición de 56,5°C para F₄ y 62,8°C para F₅ en el caso del TGA los cuales son aceptables como mantillo y si a un futuro se quiere realizar este termoplástico a nivel industrial el DSC revela que las temperaturas máximas a las cuales se puede moldear este material es de 50°C y 80°C.

3.3. Discusión de resultados

Para la elaboración del termoplástico para recubrimiento agrícola se necesita en primer lugar materia prima de calidad, la extracción del almidón se dio de manera artesanal por medio húmedo dando como resultado un porcentaje de rendimiento de extracción del 14,06% de almidón de

fréjol negro y poniéndolo a comparación con lo que menciona (Miranda et al., 2013, p.119) el valor es bajo ya que los autores mencionan que las leguminosas son fuente de almidón entre un 30 y 50% de su peso y el porcentaje de obtención de almidón fue de 36,3 % para fréjol negro lo que nos indica que el método de extracción no fue satisfactorio y se debe por la cantidad de residuo en la extracción. En general el almidón obtenido cumple con los requisitos dictados por las pruebas, en el análisis microbiológico el ensayo de coliformes totales el valor fue de 2300 UFC/g el cual está fuera del rango y según (Radley, 1976, p.119) esto se debe a malas condiciones de almacenamiento, ya que el olor desagradable se detecta fácilmente e indica la presencia de especies bacterianas en el almidón. De las 5 formulaciones de termoplásticos obtenidos a nivel de laboratorio la formulación 4 (**F₄**) que contiene 3% de PVA, 7% de almidón y 3,5% de glicerina y la formulación 5 (**F₅**) con 2% de PVA, 6% de almidón y 3,5% de glicerina a través del ensayo de tracción se concluyó que para **F₄** el valor del esfuerzo máximo fue de 2,68 MPa con porcentaje de elongación de 25,83% y **F₅** tiene un esfuerzo máximo de 2,38MPa con un porcentaje de elongación de 27,70%, con base a dichos resultados se sugiere que los termoplásticos obtenidos a nivel de laboratorio son más resistentes en comparación del film Mater-Bi que es un bioplásticos biodegradable realizado en Italia. (Novamont, 2021). Los resultados obtenidos de los ensayos de biodegradabilidad los termoplásticos muestran propiedades de las cuales **F₅** es el que tiene mayor porcentaje de biodegradabilidad en suelo, agua e intemperie en menos de 180 días como dicta la norma ASTM 64000 y se debe a que tiene mayor porcentaje de almidón. Las temperaturas máximas de degradación obtenidos por TGA de los termoplásticos fueron de 56,5°C para **F₄** y de 62,8°C para **F₅** y en el ensayo DSC las temperaturas de transición vítrea tienen un rango de temperatura entre 50°C y 80°C, estas temperaturas se comparan con la tesis realizada por (Encalada Flores, 2016, p.35) en la cual el rango de temperatura de esta investigación está entre los 63°C y 73°C.

CONCLUSIONES

- Las variables de proceso que se controlaron en la extracción del almidón de fréjol negro fueron la velocidad de licuado y tiempo obteniendo un rendimiento máximo del 14,06% para el tratamiento 4.
- Finalizando el proceso de obtención del almidón se realizó la caracterización física química y microbiológica del almidón de fréjol negro extraído, de forma general el almidón cumple con los parámetros establecidos que se mencionan en la tabla 6-3.
- Se obtuvo un material termoplástico a nivel de laboratorio de las cuales en base al análisis visual se determinó que las mejores formulaciones fueron la formulación cuatro y la formulación cinco, cuyos valores de combinación fueron para F₄ 3% de PVA, 7% de almidón y 3,5% de glicerina y la formulación F₅ con 2% de PVA, 6% de almidón y 3,5% de glicerina.
- Se evaluó los parámetros de los termoplásticos obtenidos de los cuales arrojaron resultados satisfactorios en el caso de ensayo de tracción cual F₄ es el más resistente con un valor de 2,68MPa, en el ensayo de biodegradabilidad F₅ es el que tiene mayor porcentaje de biodegradabilidad en suelo, agua e intemperie en menos de 180 días debido a que la concentración de almidón es mayor en esta formulación, en base al ensayo TGA F₄ tiene una temperatura máxima de degradación de 56,5°C y F₅ de 62,8°C y por último el ensayo DSC realizado se obtuvo un rango de temperatura entre 50°C y 80°C para las temperaturas de transición vítrea para los dos termoplásticos.

RECOMENDACIONES

- Para la extracción del almidón de fréjol se recomienda que el residuo del licuado sea lavado varias veces para el mejor aprovechamiento del almidón que puede quedar en este residuo.
- En el secado del almidón tener presente que este es a la intemperie y por esta razón en este puede crecer algunos microorganismos por eso se recomienda que este sea secado en una estufa o secador.
- Para la obtención del termoplástico en el caso del PVA se recomienda que al principio se realice una solución y con esta realizar los termoplásticos porque al momento de disolverlo a 90°C el agua se evapora muy fácilmente y este no se disuelve completamente.
- Al añadir el almidón a la mezcla este debe ser disuelto en agua fría con anterioridad.
- Se debe tener muy en cuenta la temperatura de gelatinización del almidón ya que con esto la mezcla puede ser óptima para la elaboración del termoplástico.
- Para una posterior investigación se recomienda que el tipo de almidón sea distinto, al igual que se puede agregar otros ensayos como permeabilidad, espesor e IR.

BIBLIOGRAFÍA

ALEMÁN, María, GALÁN, Luis, MORALES, Lilia y AREVALO, Katiushka, 2020. Estudio De Las Propiedades Y Biodegradabilidad De Plasticos (Cast-Films) Elaborados a Partir De Cáscara De Naranja , Pectina Y Alcohol Polivinilico (Pvoh). *Universidad Autonoma de Nuevo león* [en línea], pp. 1-2. Disponible en: https://smbb.mx/congresos/smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_IV/CIV-14.pdf.

AOAC, 1980. *Determinación de humedad* [en línea]. 1980. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ab489s/ab489s03.htm>.

ARISTIZÁBAL, Johanna y SÁNCHEZ, Teresa, 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Fao* [en línea], vol. 163, pp. 134. ISSN 1944-8244. DOI 9253056770-9789253056774. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>.

AZAHARI, N.A., OTHMAN, N. y ISMAIL, H., 2011. Biodegradation studies of polyvinyl alcohol/corn starch blend films in solid and solution media. *Journal of Physical Science*, vol. 22, no. 2, pp. 15-31. ISSN 16753402.

BRITO, Hannibal, 2001a. *TEXTO BÁSICO DE OPERACIONES UNITARIAS III* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673664_TEXTO_BASICO_DE_OPERACIONES_UNITARIAS_III.

BRITO, Hannibal, 2001b. *Texto básico Operaciones Unitarias II* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315778840_Texto_Basico_Operaciones_Unitarias_II.

BRITO, Hannibal, CHUIZA, Marco y HARO, Carla, 2021. Identificación de las variables de proceso óptimas para la producción del almidón de papa china (Colocasia esculenta). *Revista Científica* [en línea], vol. 7, pp. 837-848. DOI 10.23857/dc.v7i1.1680. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349026476_Ciencias_naturales_Articulo_de_investigacion_Identificacion_de_las_variables_de_proceso_optimas_para_la_produccion_del

_almidon_de_papa_china_Colocasia_esculenta_Identification_of_the_optimal_process_v.

BRITO, Hannibal, HUACHO, Ivan y RODRIGUEZ, Adriana, 2021. Extracción de almidón del arroz de cebada por procesos físicos de separación. *Revista Alfa* [en línea], pp. 319-330. DOI <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.120>. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354969239_Extraccion_de_almidon_del_arroz_de_cebada_por_procesos_fisicos_de_separacion.

BRITO, Hannibal, ROBALINO, Paulina, HEREDIA, Susana, CHANGO, Gabriela, FLORES, Linda y SALAZAR, Karina, 2019. *Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (Tropaeolum tuberosum)* [en línea]. 2019. Riobamba: La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición. Disponible en: <http://revistas.esPOCH.edu.ec/index.php/cssn/article/view/292/257>.

CLARINVAL, A.M. y HALLEUX, J., 2005. Classification of biodegradable polymers. *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*. S.l.: s.n., pp. 3-31. ISBN 9781855739345.

CONABIO, 2009. Frijol negro *Phaseolus vulgaris*. [en línea], pp. 1. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21059_sg7.pdf.

EL-SAYED, S., MAHMOUD, K.H., FATAH, A.A. y HASSEN, A., 2011. DSC, TGA and dielectric properties of carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol blends. *Physica B: Condensed Matter* [en línea], vol. 406, no. 21, pp. 4068-4076. ISSN 09214526. DOI 10.1016/j.physb.2011.07.050. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2011.07.050>.

ENCALADA FLORES, Katherine Stephanie, 2016. *Obtención y caracterización de un material termoplástico a partir de polivinil alcohol y almidón de achira (Canna edulis)* [en línea]. S.l.: Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15226>.

ENRÍQUEZ C, Mario, VELASCO M, Reinaldo y ORTIZ G, Vicente, 2012. Composición Y Procesamiento De Películas Biodegradables Basadas En Almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 182-192. Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>.

FAO, 2018. *Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones [en línea]*. S.l.: s.n. ISBN 9789251311295. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>.

FLIEGER, M., KANTOROVÁ, M., PRELL, A., ŘEZANKA, T. y VOTRUBA, J., 2003. Biodegradable plastics from renewable sources. *Folia Microbiologica*, vol. 48, no. 1, pp. 27-44. ISSN 00155632. DOI 10.1007/BF02931273.

GEYER, Roland, JAMBECK, Jenna R. y LAW, Kara Lavender, 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, vol. 3, no. 7, pp. 1. ISSN 23752548. DOI 10.1126/sciadv.1700782.

GONZÁLEZ BENITO, Francisco Javier, 2011. Prácticas Análisis Térmico por DSC. *Universidad Politécnica de Madrid [en línea]*, pp. 1-10. Disponible en: http://ocw.uc3m.es/cursos-archivados/caracterizacion-de-materiales/practicas-2/Practicas_de_DSC.pdf/view.

GUAMÁN, Jenny, 2015. *OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE CASCARAS DE PAPA PARA SU APLICACIÓN INDUSTRIAL*. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

HALLEY, P.J., 2005. Thermoplastic starch biodegradable polymers. *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*, pp. 140-162. DOI 10.1533/9781845690762.1.140.

INEN, 2012a. Método de Ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. *Instituto Ecuatoriano de Normalización [en línea]*, Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2635.pdf>.

INEN, 2012b. *REACTIVOS PARA ANÁLISIS. ALMIDÓN SOLUBLE (PARA IODOMETRÍA). METODOS DE ENSAYO [en línea]*. 2012. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1456.pdf>.

INEN, 2013. Cereales y leguminosas. Maíz molido, sémola, harina, gritz. Requisitos. Primera revisión. [en línea], vol. First Edit, pp. 7-12. Disponible en:

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2051-1R.pdf>.

INEN, ISO 1666, 2014. *Almidones Y Féculas. Determinación Del Contenido En Humedad. Método De Desecación En Estufa (ISO 1666:1996, IDT)* [en línea]. 2014. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1666.pdf.

INEN, ISO 1871, 2016. *ALIMENTOS Y PRODUCTOS ALIMENTICIOS PARA ANIMALES — GUÍA GENERAL PARA LA DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO KJELDAHL (ISO 1871:2009, IDT)* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1871.pdf.

INEN, ISO 3593, 2014. *ALMIDONES Y FÉCULAS. DETERMINACIÓN DE CENIZAS (ISO 3593:1981, IDT)* [en línea]. 2014. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_3593_extracto.pdf.

INEN, ISO 6541, 2016. *PRODUCTOS ALIMENTICIOS AGRÍCOLAS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FIBRA BRUTA. MÉTODO MODIFICADO DE SCHARRER (ISO 6541:1981, IDT)* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso__6541.pdf.

JANSSEN, Leon y MOSCICKI, Leszek, 2009. *Thermoplastics Starch*. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN 978-3-527-32528-3.

LONG YU, G. Christie, 2005. Microstructure and mechanical properties of orientated thermoplastic starches. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE* [en línea], pp. 11-116. DOI 10.1007/s10853-005-5694-1. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/226090939_Microstructure_and_mechanical_properties_of_oriented_thermoplastic_starches.

LUNA, Gabriela, VILLADA, Héctor y VELASCO, Reinaldo, 2009. Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. [en línea], pp. 145-151. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49611945016.pdf>.

MARTINEZ, Eloina, 2021. Biodegradable– Normas EN 13432, ASTM D6400, AS4736. [en línea]. Disponible en: <https://www.nawp.com.au/espanol/renewable-nature-based->

sourcing/biodegradability-en-13432-astm-d6400-as4736/.

MATER-BI, 2015. NOVAMONT. [en línea]. Disponible en: <http://materbi.com/solutions/agricultura/telo-per-la-pacciamatura/>.

MATER-BI, 2018. *De la agricultura para la agricultura (ES)* [en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=mFIITzqRBWY>.

MENESES, JULIANA;CORRALES, MARÍA CATALINA; VALENCIA, Marco, 2007. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA* [en línea], no. ISSN 2463-0950. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006#:~:text=Al igual que el agua, además brinda humectación al polímero.&text=Ciertas sales inorgánicas como el, al esfuerzo cortante %5B6%5D](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006#:~:text=Al%20igual%20que%20el%20agua,ademas%20brinda%20humectacion%20al%20polimero.&text=Ciertas%20sales%20inorganicas%20como%20el%20al%20esfuerzo%20cortante%20%5B6%5D).

MIRANDA VILLA, Patricia P., MARRUGO LIGARDO, Yesid A. y MONTERO CASTILLO, Piedad M, 2013. Caracterización funcional del almidón de fríjol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) y cuantificación de su almidón resistente. *Tecnológicas* [en línea], no. 30, pp. 17. ISSN 0123-7799. DOI 10.22430/22565337.80. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n30/n30a02.pdf>.

MIRANDA VILLA, Patricia, YESID, Marrugo Ligardo y MONTERO CASTILLO, Piedad, 2013. Caracterización Funcional del Almidón de Fríjol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) y Cuantificación de su Almidón Resistente. [en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_serial&lng=en&pid=0034-7450&nrm=iso.

MITRUS, Marcin y MOŚCICKI, Leszek, 2011. Thermoplastic Starch. *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*, pp. 177-189. DOI 10.1002/9783527634088.ch14.

MOSS, G..., 1976. *The Microscopy of Starch* [en línea]. 1. London: Springer, Dordrecht. ISBN 978-94-010-1332-1. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-1332-1_1#citeas.

MUSA, Bushra H. y HAMEED, Nahida J., 2019. Study of the mechanical properties of

polyvinyl alcohol/starch blends. *Materials Today: Proceedings* [en línea], vol. 20, no. xxxx, pp. 439-442. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2019.09.161. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.161>.

NOVAMONT, S.p..., 2018. Acolchado biodegradable compostable MANUAL DEL USUARIO. [en línea]. Disponible en: https://materbi.com/es/wp-content/uploads/sites/4/2015/12/manuale-pacciamatura_SPA_LR_senza-logo-FSC.pdf.

NOVAMONT, S.p..., 2021. Mater-bi para Acolchado Soluciones para la biodegradabilidad en el suelo. [en línea]. Disponible en: <https://materbi.com/solutions/agricultura/telo-per-la-pacciamatura/>.

OVANDO MARTÍNEZ, Maribel, OSORIO DÍAZ, Perla, WHITNEY, Kristin, BELLO PÉREZ, Luis A. y SIMSEK, Senay, 2011. Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. *Food Chemistry* [en línea], vol. 129, no. 2, pp. 358-365. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2011.04.084. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30634238/>.

PÉREZ PACHECO, Emilio, CANTO PINTO, Jorge Carlos, MOO HUCHIN, Víctor Manuel, ESTRADA MOTA, Iván Alfredo, ESTRADA LEÓN, Raciél Javier y CHEL GUERRERO, Luis, 2016. Thermoplastic Starch (TPS)-Cellulosic Fibers Composites: Mechanical Properties and Water Vapor Barrier: A Review. *Composites from Renewable and Sustainable Materials*, DOI 10.5772/65397.

RADLEY, J..., 1976. Physical Methods of Characterising Starch. *Examination and Analysis of Starch and Starch Products* [en línea]. S.l.: Springer, Dordrecht, ISBN 978-94-010-1334-5. Disponible en: https://sci-hub.mkxa.top/10.1007/978-94-010-1332-1_4.

RODRÍGUEZ, Ellen y VILLEGAS, Ernesto, 2012. Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Métodos y Materiales*, vol. 2, no. 1, pp. 25-32. ISSN 2215-342X. DOI 10.15517/mym.v2i1.13470.

RODRIGUEZ SANDOVAL, Eduardo, SANDOVAL ALDANA, Angélica y FERNÁNDEZ QUINTERO, Alejandro, 2007. EVALUACIÓN DE LA RETROGRADACIÓN DEL

ALMIDÓN EN HARINA DE YUCA PRECOCIDA. *SciELO* [en línea], vol. 36. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042007000100002.

ROMERO LÓPEZ, Nazareth, 2018. *DETERMINACIÓN DE PLASTIFICANTES EN FILMS POLIMÉRICOS* [en línea]. S.l.: Universidad de Jaén. Disponible en: http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9245/1/TFG_Nazareth27_Julio.pdf.

RUIZ AVILÉS, Gladys, 2005. *Pólimeros Biodegradables a partir de almidón de yuca*. [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD EAFIT. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2.

RUIZ, Gladys, 2006. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de Yuca. *Ingeniería y Ciencia* [en línea], vol. 2, no. 4, pp. 5-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf>.

SALMERÓN HERRERA, Francisco Isaac, 2019. *Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana* [en línea]. S.l.: Escuela Agrícola Panamericana. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6505/1/AGI-2019-T053.pdf>.

SANDOVAL ALDANA, Angelica, RODRIGUEZ SANDOVAL, Eduardo y FERNANDEZ QUINTERO, Alejandro, 2004. Analysis By Differential Scanning Calorimetry (Dsc) for the Characterization of the Modifications of the Starch. *Dyna rev.fac.nac.minas* [en línea], vol. 72, no. ISSN 0012-7353, pp. 45-53. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v72n146/a04v72n146.pdf>.

SCHNEIDER, Caroline, RASBAND, Wayne y ELICEIRI, Kevin, 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* [en línea], vol. 9, pp. 671-675. DOI 10.1038 / nmeth.2089. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5554542/>.

SIN, Lee Tin, RAHMAN, W.A.W..., RAHMAT, A.R. y KHAN, M.I., 2010. Detection of synergistic interactions of polyvinyl alcohol–cassava starch blends through DSC. *Carbohydrate Polymers* [en línea], pp. 225-226. DOI 10.1016/j.carbpol.2009.08.003.

- Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/244330515_Detection_of_synergistic_interaction_of_polyvinyl_alcohol-cassava_starch_blends_through_DSC.
- SKOOG, Douglas A., HOLLER, James E. y CROUCH, Staley R., 2008.** *Principios de análisis instrumental*. S.l.: s.n.
- SREEDHAR, B., SAIRAM, M., CHATTOPADHYAY, D..., SYAMALA RATHNAM, P... y MOHAN RAO, D..., 2005.** Thermal, Mechanical, and Surface Characterization of Starch–Poly(vinyl alcohol) Blends and Borax-Crosslinked Films. *Applied Polymer* [en línea], pp. 1313-1322. DOI <https://doi.org/10.1002/app.21439>. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.21439>.
- TOLEDO, Metter, 2021.** *Thermal Analysis of Polymers Selected Applications* [en línea]. 2021. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.mt.com/int/en/home/registered_user_services/profile-dashboard/personallibrary.html.
- TOVAR BENÍTEZ, Tomas, 2008.** *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y TÉRMICA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ (Zea mays L) OBTENIDO POR DIFERENTES MÉTODOS DE AISLAMIENTO* [en línea]. S.l.: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Disponible en:
http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion_morfologica_y_termica_almidon_de_maiz.pdf;jsessionid=E716C9D847EBD7DE2CA9E088940D0097?sequence=1.
- TUDORACHI, N., CASCAVAL, C..., RUSU, M. y PRUTEANU, M., 2000.** Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials. *Polymer testing* [en línea], vol. 19, pp. 785-799. DOI [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(99\)00049-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(99)00049-5). Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142941899000495>.
- VALENCIA, Adriana, RIVERA, Carmen y MURILLO, Edwin Alberto, 2013.** *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE MEZCLAS DE ALCOHOL POLIVINÍLICO-ALMIDÓN DE YUCA-SORBITOL OBTENIDAS POR CASTING*. 2013. Medellín: s.n.

VILLADA, Héctor S. y ACOSTA, Harold A., 2011. Investigación de Almidones Termoplásticos , Precursores de Productos Biodegradables Research on Thermoplastic Starches , Biodegradable Products Precursors. *Informacion Tecnologica*, vol. 19, no. 2, pp. 3-14. ISSN 07168756.

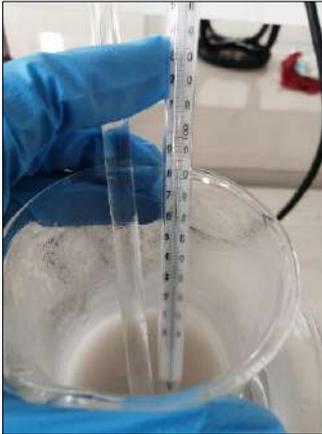
YOTARO, Konishi, ARNAO SALAS, Inés y CALIXTO COTOS, Maria Rosario, 2006. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE *Amarantus caudatus* L. POR BARRIDO CALORIMÉTRICO DIFERENCIAL. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], vol. 72, no. 1, pp. 12-18. ISSN 1810-634X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3719/371941284003.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*)

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 	<p>d.</p> 		
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)</p>		
			<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
<p>a. Molienda del fréjol negro b. Remojo del fréjol negro c. Licuado y decantado del almidón d. Secado</p>	<p>➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar</p>	<p>Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores</p>	<p>1</p>	<p>1:10</p>	<p>2020/12/10</p>

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 			
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)</p>		
<p>a. <i>Temperatura de gelatinización</i> b. <i>Solubilidad</i> c. <i>pH</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Aprobado</i> ➤ <i>Certificado</i> ➤ <i>Por aprobar</i> ➤ <i>Por calificar</i> ➤ <i>Por verificar</i> 	<p>Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:10</p>	<p>2021/01/11</p>

ANEXO C: PORCENTAJE DE AMILOSA Y DE AMILOPECTINA DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO

<p>a.</p>	<div style="text-align: center;">  <p>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, Guayaquil Ts. 2995991-8007134 Fax 8007134 Correo postal 17-01-940</p>  </div> <p>INFORME DE ENSAYO No: 21-043</p> <p>HOMBRE PETICIONARIO: Srta. Jessica Natalia Ichina INSTITUCIÓN: Particular DIRECCIÓN: Ambato ATENCIÓN: Srta. Jessica Natalia Ichina FECHA DE EMISIÓN: 12/02/2021 FECHA DE RECEPCIÓN: 01/02/2021 FECHA DE ANÁLISIS: Del 1 al 11 de febrero de 2021 HORA DE RECEPCIÓN: 16H10 ANÁLISIS SOLICITADO: Amilosa</p> <table border="1" data-bbox="761 542 1523 630"> <thead> <tr> <th>ANÁLISIS</th> <th>HUMEDAD</th> <th>AMILOSA¹</th> <th colspan="3">IDENTIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MÉTODO</td> <td>MO-LSAIA-01-01</td> <td>MO-LSAIA-01</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MÉTODO REF.</td> <td>U. FLORIDA 1970</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>UNIDAD</td> <td>%</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>21-0274</td> <td>13,75</td> <td>36,09</td> <td></td> <td></td> <td>Almidón de fréjol negro</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los ensayos marcados con (1) se reportan en base seca. OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Dr. Juan Samaniego RESPONSABLE TÉCNICO </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  Ing. Gladimir Ortiz RESPONSABLE CALIDAD </div> </div> <p><small>Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita de INIAP. 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 y está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el sector de este como electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente 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.</small></p>			ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ¹	IDENTIFICACIÓN			MÉTODO	MO-LSAIA-01-01	MO-LSAIA-01				MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970					UNIDAD	%	%				21-0274	13,75	36,09			Almidón de fréjol negro
ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ¹	IDENTIFICACIÓN																														
MÉTODO	MO-LSAIA-01-01	MO-LSAIA-01																															
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970																																
UNIDAD	%	%																															
21-0274	13,75	36,09			Almidón de fréjol negro																												

ANEXO D: FORMULACIONES MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS CENTURION XVII.

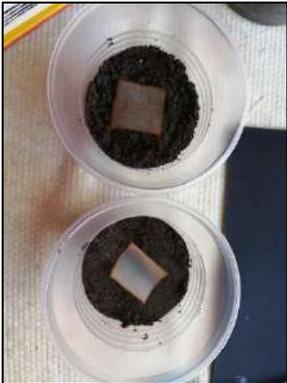
<p>a.</p> <thead> <tr> <th>BLOCK</th> <th>Almidón (g)</th> <th>PVA (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>7,0</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>5,0</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>6,0</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>7,0</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,0</td><td>3,0</td></tr> </tbody>	BLOCK	Almidón (g)	PVA (g)	1	7,0	3,0	2	5,0	1,0	3	6,0	2,0	4	7,0	1,0	5	5,0	3,0
BLOCK	Almidón (g)	PVA (g)																
1	7,0	3,0																
2	5,0	1,0																
3	6,0	2,0																
4	7,0	1,0																
5	5,0	3,0																

 CATEGORIA DEL DIAGRAMA | | **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO** **FACULTAD DE CIENCIAS** **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA** | | **CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*)** | | || e. Formulaciones mediante el programa statgraphics centurion xvii. | - *Aprobado* - *Certificado* - *Por aprobar* - *Por calificar* - *Por verificar* | Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores | | **LÁMINA** | **ESCALA** | **FECHA** |
| | | | | **1** | **1:10** | 2021/02/11 |

ANEXO E: OBTENCIÓN DE LOS TERMOPLÁSTICOS

a.	b.	c.	d.	e.	
					
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) <i>Formulación 1</i> b) <i>Formulación 2</i> c) <i>Formulación 3</i> d) <i>Formulación 4</i> e) <i>Formulación 5</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Aprobado</i> ➤ <i>Certificado</i> ➤ <i>Por aprobar</i> ➤ <i>Por calificar</i> ➤ <i>Por verificar</i> 	Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores	1	1:10	2021/01/27

ANEXO F: CARACTERIZACIÓN DEL TERMOPLÁSTICO

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 	<p>d.</p> 		
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		
<p>a) <i>Ensayo de tracción</i> b) <i>Ensayo de tracción</i> c) <i>Biodegradabilidad</i> d) <i>Biodegradabilidad</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Aprobado</i> ➤ <i>Certificado</i> ➤ <i>Por aprobar</i> ➤ <i>Por calificar</i> ➤ <i>Por verificar</i> 	<p>Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:10	2021/05/06

ANEXO G: ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FORMULACIÓN 4

<p>a.</p>		<p>Ing. J. Anibal Viñan B. M.Sc.</p>			
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FORMULACIÓN 4</p>		
<p>a- Ensayo de tracción de la formulación 4.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	<p>Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:10</p>	<p>2021/02/25</p>

ANEXO H: ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FORMULACIÓN 5

a.

LenMay
LABORATORIO
EVALUACIÓN DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B., M.Sc.

INFORME DE RESULTADOS
ENSAJO DE TRACCIÓN Denominación: RG 10 - 1 N° 42

SOLICITADO POR: Escuela Superior Politécnica Flores
FUNCIÓN: V-CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL
OBJETIVO DE PRUEBA: DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD, ELONGACIÓN Y ALARGAMIENTO DE FLECHA MÁXIMO (MPa) y VARIACIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL DE MANEJO APLICADO

PROYECTO DE PRUEBA: ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ÁREA DE PRUEBA: ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TIPO DE MATERIAL: TERMOPLÁSTICO
MATERIAL: LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN: 2021-02
NORMA UTILIZADA: DTF 1001 107 102
FECHA DE ENSAYO: 2021-02-25

EDIFICIO: ELIZABETH MAGUENA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAWAGU
NOMBRE: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL ECUADOR - UTEC
DIRECCIÓN: CALLE BUENA VISTA, 201100000, COTACACHI, AZUAYO

DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	VALOR
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPEZOR [mm]	0.12
ANCHURA [mm]	6.01
LONGITUD INICIAL [mm]	23.00
SECCIÓN TRANSVERSAL [mm ²]	0.96
MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.30 E-01
CARGA DE FLECHA [N]	1.82
ESFUERZO DE FLECHA [MPa]	1.92
CARGA MÁXIMA [N]	2.29
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	2.38
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]	23.30

Observaciones:
Aprobado por:
Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO
ESCUELA DE MATERIALES

Dirección: Calle Buena Vista, 201100000, Cotacachi, Azuayo
Tel: 0527244420 - Cel: 0997240950 - Email: jvinan@univas.edu.ec
1/1

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FORMULACIÓN		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Ensayo de tracción de la formulación 5.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores	1	1:10	2021/02/25

ANEXO A: REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE TGA Y DSC.

a.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ÁREA DE INVESTIGACIÓN

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO
ORDEN 693

Lugar y fecha: Quito, 18 de marzo del 2021

1. Datos del solicitante:

Nombre:	Campana Flores Geovanna Daniela
Dirección:	Riobamba
Cédula / Pasaporte / RUC:	1723841688
Teléfono:	0987382653
Persona de contacto:	Geovanna Campana Teléfono: 0987382653

2. Especificaciones del ensayo

Muestra:	Bioplástico
Descripción:	Bioplástico F4 y F5
Tipo de ensayo:	Termogravimetría y Calorimetría de barrido
Equipo / máquina:	Módulo TGA-1, Netzsch DSC 3600
Analista:	Ing. Pablo Londoño, Ing. Jocelyn Cacer
Descripción del método:	
TGA:	<ul style="list-style-type: none"> Rampa de calentamiento 3 °C/min Programa de 25 a 150 °C Atmósfera oxidante (aire sintético) 20 ml/min
DSC:	<ul style="list-style-type: none"> Rampa de calentamiento 20 °C/min Programa de -5 a 500 °C Atmósfera oxidante (aire sintético) 33 ml/min
Observaciones:	

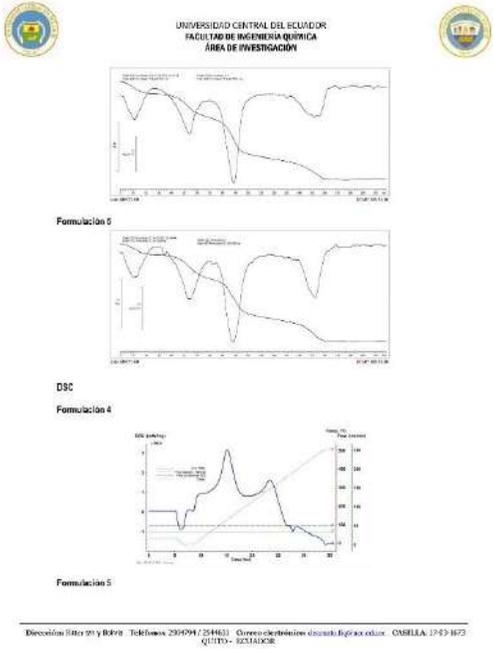
3. Resultados

TGA
Formulación 4

Dirección: E11m s/n y Bolívar Teléfono: 2506794 / 2544631 Correo electrónico: investa.fq@uce.edu.ec CASILLA: 1743-1673
QUITO - ECUADOR

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE TGA Y DSC.		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Reporte de resultados de laboratorio de TGA y DSC.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	Elaborado por: Geovanna Daniela Campana Flores	1	1:10	2021/03/18

Continuación - ANEXO I

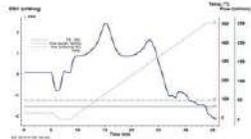
<p>a.</p>  <p>UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA ÁREA DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Formulación 0</p> <p>DSC Formulación 4</p> <p>Formulación 5</p> <p>Dirección: 51tra y B070 - Teléfono: 2540947-2541633 - Correo electrónico: dsc@ucje.edu.ec - CMBILLA: 1743-1673 QUITO - 0251610306</p>					
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE TGA Y DSC.		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Continuación - ANEXO I	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	<p>Elaborado por:</p> <p>Geovanna Daniela Campaña Flores</p>	1	1:10	2021/03/18

Continuación – ANEXO I

a.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ÁREA DE INVESTIGACIÓN



Los resultados en detalle han sido enviados al correo electrónico del cliente.



Ing. Pablo Londoño Larios
Análisis de Laboratorio Universitario 3

Dirección: Ríbor 28 y Bolívar. Teléfono: 2008794 / 2584311. Correo electrónico: quimica.fq@uce.edu.ec. CASILLA: 1743-1673
QUITO - ECUADOR.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE TGA Y DSC.		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a- Continuación – ANEXO I	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores	1	1:10	2021/03/18

ANEXO B: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICO DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO.

<p>a.</p>						
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>RESULTADOS FÍSICO QUÍMICO DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)</p>			
<p>a. <i>Resultados físico químico del almidón de fréjol negro.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Aprobado</i> ➤ <i>Certificado</i> ➤ <i>Por aprobar</i> ➤ <i>Por calificar</i> ➤ <i>Por verificar</i> 	<p>Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>	
			<p>1</p>	<p>1:10</p>	<p>2021/07/16</p>	

ANEXO C: RESULTADOS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO.

a.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Geovanna Daniela Campaña Flores	RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE ALMIDÓN DE FRÉJOL NEGRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Resultados microbiológicos del almidón de fréjol negro.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:10	2021/07/07



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: 04 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Geovanna Daniela Campaña Flores</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>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>