



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE
PAPA (*Solanum tuberosum*) Y YUCA (*Manihot esculenta*) PARA USO
COMO ENVOLTURA DE ALIMENTOS**

Trabajo Integración Curricular

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOQUÍMICA FARMACEÚTICA

AUTORA: MARÍA CRISTINA ALARCÓN CABEZAS

DIRECTORA: Ing. VIOLETA MARICELA DALGO FLORES Mgs.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, María Cristina Alarcón Cabezas

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

Yo, MARÍA CRISTINA ALARCÓN CABEZAS, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes 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 Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de marzo de 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom, positioned above a solid horizontal line.

María Cristina Alarcón Cabezas

CI. 060407497-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular Certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; tipo: Trabajo Experimental. **OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y YUCA (*Manihot esculenta*) PARA USO COMO ENVOLTURA DE ALIMENTOS**, realizado por la señorita **MARÍA CRISTINA ALARCÓN CABEZAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Irene Del Carmen Gavilanes Terán PhD. PRESIDENTA DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERAN	2022-03-24
Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores Mgs. DIRECTORA DEL TABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado electrónicamente por: VIOLETA MARICELA DALGO FLORES	2022-03-24
Dr. Carlos Pilamunga Capus Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: CARLOS PILAMUNGA	2022-03-24

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Edgar Alarcón, Mariana Cabezas y mi hermano David Alarcón que gracias a su apoyo incondicional y esfuerzo han sido mi mayor motivación para enfrentar todo tipo de adversidades y poder cumplir una etapa de mi vida. También va dedicado para mis abuelitos Oswaldo Cabezas (+), Olivia Guijarro quienes han sido el un apoyo durante esta etapa.

Cristina

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por las bendiciones recibidas y a mis queridos padres por el apoyo incondicional durante todos los obstáculos que he ido teniendo durante todo este tiempo.

A la Ing. Violeta Dalgo por el asesoramiento y seguimiento en este Trabajo de Integración Curricular, ya que gracias a sus conocimientos me ha ido guiando durante todo este tiempo.

Cristina

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Papa.....	4
1.2.1. <i>Origen genético de la variedad</i>	4
1.2.2. <i>Composición de la papa</i>	5
1.2.3. <i>Características morfológicas</i>	6
1.2.4. <i>Características agronómicas</i>	6
1.2.5. <i>Usos</i>	6
1.3. Yuca.....	7
1.3.1. <i>Composición química de la yuca</i>	7
1.3.2. <i>Almidón de yuca</i>	8
1.3.3. <i>Aplicaciones</i>	9
1.4. Bioplásticos.....	9
1.4.1. <i>Generalidades</i>	10
1.4.2. <i>Componentes para la elaboración de bioplásticos</i>	10
1.4.2.1. <i>Plastificante</i>	10
1.4.2.2. <i>Agua destilada</i>	10
1.4.2.3. <i>Glicerina</i>	10
1.4.2.4. <i>Ácido acético</i>	11
1.4.2.5. <i>Desmoldante</i>	11
1.4.3. <i>Tecnologías de procesamiento de los bioplásticos</i>	11
1.4.4. <i>Propiedades mecánicas</i>	11
1.4.5. <i>Tipos de bioplásticos</i>	12
1.4.6. <i>Biodegradabilidad</i>	12

1.5.	Almidón	12
1.5.1.	<i>El almidón, como materia prima para la elaboración de un bioplástico</i>	13
1.5.2.	<i>Ventajas del almidón como materia prima, para elaboración de bioplásticos</i>	13
1.5.3.	<i>Desventajas del almidón como materia prima, para elaboración de bioplásticos</i>	14
1.5.4.	<i>Fuentes de obtención</i>	14
1.5.5.	<i>Propiedades del almidón</i>	14
1.5.5.1.	<i>pH</i>	14
1.5.5.2.	<i>Solubilidad</i>	14
1.5.5.3.	<i>Absorción de agua</i>	14
1.5.5.4.	<i>Poder de hinchamiento</i>	15
1.5.5.5.	<i>Sinéresis</i>	15
1.5.5.6.	<i>Viscosidad</i>	15
1.5.5.7.	<i>Gelatinización</i>	15
1.6.	Fundamentos para la caracterización del bioplástico	16
1.6.1.	<i>Determinación de humedad</i>	16
1.6.2.	<i>Determinación del espesor</i>	17
1.7.	Contaminación ambiental	17
1.8.	Residuos sólidos	17
1.9.	Residuos biodegradables	18
1.10.	Láminas biodegradables	18

CAPÍTULO II

2.	METODOLOGÍA	19
2.1.	Lugar de realización	19
2.2.	Tipo de investigación	19
2.3.	Diseño de investigación	19
2.4.	Población de estudio y/o tamaño de muestra y/o método de muestreo de muestra	19
2.5.	Tamaño de la muestra	20
2.6.	Materiales, equipos y reactivos	20
2.7.	Metodología	21
2.7.1.	<i>Extracción de almidón a partir de productos de la papa y yuca para su caracterización en base al diseño factorial 2²</i>	23
2.8.	Caracterización del almidón: Determinación de parámetros físico químicos	25
2.8.1.	<i>Prueba de almidón (Lugol)</i>	25
2.8.2.	<i>Contenido de materia seca (Humedad)</i>	25
2.8.3.	<i>Fibra</i>	26

2.8.4.	<i>Proteína</i>	26
2.8.5.	<i>Grasa</i>	27
2.8.6.	<i>Densidad aparente</i>	28
2.8.7.	<i>Viscosidad Brookfield</i>	29
2.8.8.	<i>Temperatura de gelatinización</i>	29
2.8.9.	<i>Índice de solubilidad en agua</i>	29
2.8.10.	<i>pH</i>	30
2.8.11.	<i>Contenido de cenizas</i>	30
2.9.	Diseño experimental	31
2.10.	Elaboración del bioplástico	31
2.11.	Caracterización del bioplástico	32
2.11.1.	<i>Solubilidad en el agua</i>	32
2.11.2.	<i>Humedad</i>	32
2.11.3.	<i>Permeabilidad al vapor de agua</i>	33
2.11.4.	<i>Determinación de la biodegradabilidad</i>	33
2.11.5.	<i>Análisis de IR (Infrarrojo)</i>	34

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1.	Caracterización del almidón extraído de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>), para su aplicación en la síntesis de bioplástico	35
3.1.1.	<i>Descripción organoléptica de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</i>	35
3.1.2.	<i>Descripción organoléptica del almidón de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</i>	36
3.1.3.	<i>Rendimiento de extracción de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)</i>	36
3.1.3.1.	<i>Comparación del rendimiento de extracción de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)</i>	38
3.1.4.	<i>Rendimiento de extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</i>	39
3.1.4.1.	<i>Comparación del rendimiento de extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</i>	40
3.1.5.	<i>Análisis físico químico del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)</i>	42
3.1.6.	<i>Análisis físico químico del almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</i>	43
3.1.7.	<i>Análisis microbiológico del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)</i>	44
3.1.8.	<i>Análisis microbiológico del almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</i>	44
3.2.	Determinación de la formulación óptima para la elaboración del bioplástico a partir de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	45

3.2.1.	<i>Análisis físico químico del bioplástico de la combinación del almidón de papa (Solanum tuberosum) y yuca (Manihot esculenta)</i>	46
3.2.2.	<i>Análisis de solubilidad del bioplástico</i>	46
3.2.3.	<i>Análisis de permeabilidad del bioplástico</i>	47
3.3.	Evaluación del bioplástico obtenido a través de análisis físico-mecánico y de biodegradabilidad para su uso como envoltura de alimentos	49
3.3.1.	<i>Análisis físico-mecánico del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos</i>	49
3.3.2.	<i>Análisis microbiológico del bioplástico</i>	52
3.3.3.	<i>Análisis de IR del bioplástico</i>	53
3.3.4.	<i>Degradación del bioplástico a partir de la mezcla del almidón de papa (Solanum tuberosum) y yuca (Manihot esculenta)</i>	56
3.3.5.	<i>Evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos</i>	62
3.4.	Pruebas de Hipótesis	64
CONCLUSIONES		66
RECOMENDACIONES		67
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Categorías taxonómicas de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	4
Tabla 2-1:	Composición química en 100 gramos de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	6
Tabla 3-1:	Categorías taxonómicas de la yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	7
Tabla 4-1:	Composición química de la yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	8
Tabla 5-1:	Porcentaje de almidón tubérculos y cereales.	8
Tabla 1-2:	Formulaciones del bioplástico de almidón de papa y yuca.....	23
Tabla 2-2:	Prueba de resistencia del bioplástico.....	23
Tabla 3-2:	Prueba de compresión o dureza del bioplástico.....	24
Tabla 4-2:	Diseño experimental para el bioplástico de almidón de papa y yuca.....	30
Tabla 1-3:	Descripción organoléptica de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	35
Tabla 2-3:	Descripción organoléptica del almidón de papa y yuca.	36
Tabla 3-3:	Rendimiento de extracción de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	37
Tabla 4-3:	Análisis estadístico descriptivo del rendimiento de extracción de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	38
Tabla 5-3:	Análisis de varianza para rendimiento de extracción de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	38
Tabla 6-3:	Rendimiento de extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	40
Tabla 7-3:	Análisis estadístico descriptivo del rendimiento de extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	40
Tabla 8-3:	Análisis de varianza para rendimiento de extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	41
Tabla 9-3:	Análisis físico químico del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	42
Tabla 10-3:	Análisis físico químico del almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	43
Tabla 11-3:	Análisis microbiológico del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	44
Tabla 12-3:	Análisis microbiológico del almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	45
Tabla 13-3:	Formulación para la elaboración del bioplástico de la combinación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	45
Tabla 14-3:	Análisis físico químico del bioplástico.....	46
Tabla 15-3:	Análisis estadístico descriptivo de solubilidad del bioplástico.....	46
Tabla 16-3:	Análisis de varianza de la solubilidad del bioplástico.....	47
Tabla 17-3:	Análisis estadístico descriptivo de permeabilidad del bioplástico.	48
Tabla 18-3:	Análisis de varianza de la permeabilidad del bioplástico.....	48

Tabla 19-3:	Espesor del bioplástico de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	49
Tabla 20-3:	Anchura y longitud del bioplástico de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	50
Tabla 21-3:	Sección transversal del bioplástico de la combinación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	50
Tabla 22-3:	Elasticidad del bioplástico de la combinación de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	51
Tabla 23-3:	Análisis físico mecánico del bioplástico de la combinación de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	52
Tabla 24-3:	Análisis microbiológico del bioplástico de papa y yuca.	52
Tabla 25-3:	Biodegradabilidad porcentual del bioplástico en medio aerobio.....	57
Tabla 26-3:	Biodegradabilidad porcentual del bioplástico en medio anaerobio.	58
Tabla 27-3:	Biodegradabilidad porcentual del bioplástico en medio acuoso.....	58
Tabla 28-3:	Resultados de la biodegradación del almidón de papa y yuca durante 42 días en medio aerobio.	59
Tabla 29-3:	Resultados de la biodegradación del almidón de papa y yuca durante 42 días en medio anaerobio.	60
Tabla 30-3:	Resultados de la biodegradación del almidón de papa y yuca durante 42 días en medio acuoso.....	61
Tabla 31-3:	Evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos en un ambiente natural.	62
Tabla 32-3:	Evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos en un ambiente de refrigeración.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Diagrama del procedimiento de elaboración de bioplástico.....	16
--------------------	---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.	Rendimiento de extracción de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	39
Gráfico 2-3.	Rendimiento de extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	41
Gráfico 3-3.	Solubilidad del bioplástico.	47
Gráfico 4-3.	Permeabilidad del bioplástico.....	48
Gráfico 5-3.	Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 1...	53
Gráfico 6-3.	Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 2...	54
Gráfico 7-3.	Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 3...	55
Gráfico 8-3.	Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 4...	56

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA Y YUCA
- ANEXO B.** SECADO Y RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN
- ANEXO C.** TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN
- ANEXO D.** PH DEL ALMIDÓN
- ANEXO E.** HUMEDAD Y CENIZAS
- ANEXO F.** VISCOSIDAD DEL ALMIDÓN
- ANEXO G.** SOLUBILIDAD DEL ALMIDÓN
- ANEXO H.** SOLUBILIDAD DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO I.** PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA
- ANEXO J.** FORMULACIÓN DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO K.** EVALUACIÓN DEL BIOPLÁSTICO PARA SU USO COMO ENVOLTURA DE ALIMENTOS
- ANEXO L.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO M.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE PAPA
- ANEXO N.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE YUCA
- ANEXO O.** ANÁLISIS DE ALMIDÓN DE PAPA Y YUCA
- ANEXO P.** ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M1
- ANEXO Q.** ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M2
- ANEXO R.** ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M3
- ANEXO S.** ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M4

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue obtener un bioplástico a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), para uso como envoltura de alimentos. La materia prima de la cual se obtuvo el almidón fueron 10 kg de papa y yuca, mediante el método de decantación natural. Posteriormente se realizó la caracterización físico-química, mecánico y de biodegradabilidad para su uso como envoltura de alimentos. Para la obtención del bioplástico se propusieron cuatro formulaciones en base a un muestreo de tipo experimental y los bioplásticos obtenidos fueron a través del diseño factorial 2^2 , los mismos que fueron sometidos a ensayos físicos que incluyó análisis de espesor, el cual se determinó de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana INEN 2542; el contenido de humedad, se determinó mediante técnicas establecidas en la ICONTEC, 2002; biodegradabilidad, se determinó de acuerdo con la norma ASTM D-5488-94d; permeabilidad se determinó en función de la norma ASTM E96 y en cuanto a su propiedad mecánica se efectuó el ensayo de tracción. El valor medio del rendimiento de almidón de papa fue 12,6% y yuca 18,0%. La caracterización del almidón de papa y yuca mostró el mejor rendimiento en tratamiento T1 con 13,08% y 19,25% respectivamente, debido a que presentó un mejor aspecto translucido, buena estabilidad y una textura lisa. El análisis de biodegradación del bioplástico en medio anaerobio mostró la mejor degradación (95,50%) a los 42 días, contribuyendo de esta manera en la reducción de la contaminación ambiental y cumpliendo con lo establecido en la norma EN 13432, en consecuencia, este bioplástico muestra el resultado de una búsqueda piloto para su uso en envoltura de alimentos como alternativa para sustituir las fundas plásticas sintéticas debido a que aumenta la vida útil de las frutas por un tiempo mayor a 15 días.

Palabras clave: <ALMIDÓN DE PAPA>, <ALMIDÓN DE YUCA>, <BIOPLÁSTICO>, <EMPAQUES DE ALIMENTOS>, <POLÍMERO BIODEGRADABLE>.

LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Número de reconocimiento 3096-12-4-EC, BANCO CENTRAL
DEL ECUADOR, UNIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION E-CECILL, QUITO,
199484848-1088421481, c=EC, o=LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2022.05.29 15:16:12 -05'00'



0548-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The objective of this research investigation was to obtain a bioplastic formula from potato starch (*Solanum tuberosum*) and cassava (*Manihot esculenta*) to be used as a food wrap. The raw material from which the starch was obtained was 10 kg of potatoes and cassava using the method of natural settling. Subsequently, the physical-chemical, mechanical, and Biodegradability characterization was checked for its use as a food wrap. To obtain the bioplastic, four formulations were proposed based on experimental sampling and the bioplastics obtained were through the 2² factorial design the same ones that were tested physically. It included thickness analysis, which was determined according to the Ecuadorian technical standard INEN 2542; moisture content which was determined using established techniques of ICONTEC, 2002; Biodegradability was determined in accordance with ASTM D-5488-94d; permeability was determined based on the standard ASTM E96, and for the mechanical property a tensile test was performed. The mean value of potato starch yield was 12.6% and for cassava 18.0%. The characterization of potato and cassava starch showed the best yield in treatment T1 with 13.08% and 19.25% respectively, because, it presented a better translucent appearance, good stability, and a smooth texture. The biodegradation analysis of the bioplastic tested in an anaerobic medium showed the best degradation (95.50%) at an average of 42 days. Thus, contributing to the reduction of environmental pollution and complying with the established standard EN 13432. Therefore, this bioplastic shows the result of pilot research for its use in food packaging as an alternative to replacing synthetic plastic covers or bags, because it increases the shelf life of fruits for a longer period of time, until 15 days.

Keywords: <POTATO STARCH>, < CASSAVA STARCH>, <BIOPLASTIC>, <FOOD PACKAGING>, <BIODEGRADABLE POLYMER>.



INTRODUCCIÓN

El plástico desde su invención ha desplazado a materiales como la madera y vidrio, su uso ha inundado la vida diaria, y se lo puede encontrar en envases de productos, como ingredientes de cosméticos, en textil de ropa y materiales de construcción (Yamunaqué et al., 2018, p.8). Su fabricación se realiza a partir de reservas fósiles que perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo, que al acumularse generan grandes cantidades de residuos y llevan consigo sustancias tóxicas que afectan el ambiente (Avellán et al., 2020, p.8).

Como alternativa para sustituir al plástico sintético, han surgido nuevas ideas que permiten obtener productos biodegradables elaborados a partir de fuentes naturales, tales como cultivos de poliésteres microbianos, celulosa y almidón, esta última sirve de base para la elaboración de bioplásticos, ya que se cuenta con buena disponibilidad, bajo costo, carácter renovable y biodegradabilidad (García, 2015, p.20).

El bioplástico a partir del almidón se ha convertido en un producto de interés para el sector industrial, ya que es una alternativa de reemplazo ante la demanda de producción de plástico. A nivel mundial los residuos sólidos (RS) son generados en grandes cantidades debido al crecimiento poblacional e industrial; es decir, a mayor número de personas, mayor producción de RS. La gran parte de plásticos sintéticos se obtienen a partir de los derivados del petróleo y sus desechos generan contaminación. Además, muchos empaques plásticos no pueden reciclarse fácilmente, pues hay que recolectarlos, trasladarlos y limpiarlos antes de procesarlos; lo cual resulta costoso (Álvarez et al., 2017, p.38).

La industria del plástico en Ecuador se encuentra en constante innovación y crecimiento a través de los años; es una fuente importante generadora de empleo que se ha convertido en uno de los nueve sectores claves que dinamizan la economía ecuatoriana. Los plásticos constituyen uno de los grupos de materiales que más se utilizan en la industria alimentaria como envases de alimentos (Guamán, 2019, p.1). Además, el uso de plástico en envolturas para embalaje tiene una función genuina y evita el desperdicio, sin embargo, el mal uso en frutas y verduras son claros ejemplos de exceso de plástico porque este tipo de productos ya cuentan con una recubierta natural protectora.

La ciudad de Riobamba no escapa de esta realidad por lo que la Dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, señala que la cantidad diaria de residuos generados es de alrededor de 200 toneladas, distribuidas de la siguiente manera: 65% materia orgánica y el 35% es inorgánica, de esta última, aproximadamente el 11% es material plástico y el 8% papel y cartón.

Hay que tener en cuenta que los plásticos sintéticos, por sus características económicas, de producción y compra, han llegado a tener un uso excesivo e inconsciente por parte del ser humano. Una de las ideas para cambiar el mal uso, es justamente su disminución al paso del

tiempo. Se dice que, para la descomposición de dichos residuos, éstos tienen que pasar por varios años, pero la realidad es que estos materiales no se degradan, sino que pasan a una fase de transformación de partículas mucho más pequeña de plástico conocidas como micro plástico, que llegan a provocar un efecto más fuerte de contaminación, debido a su excesiva acumulación en el ambiente.

Se ha identificado que los productos como la papa y yuca poseen una gran cantidad de almidón, lo cual hace que sea una alternativa para mejorar la problemática del impacto de plástico en el medio ambiente. Por esta razón, a través de este trabajo de investigación se propone el desarrollo de un plástico biodegradable cuya materia prima proceda del almidón de papa y yuca, dado que estos productos se encuentran fácilmente en los mercados y una de las alternativas de interés es brindarles valor agregado a estos productos mediante la obtención de películas biodegradables.

De esta manera se contaría con materiales renovables, biodegradables e inofensivos para el ambiente. Y con ello el almidón se convertirá en un producto de uso potencial por ser un recurso renovable que puede sustituir a los recursos no renovables como el petróleo, del cual se fabrican un sin fin de polímeros sintéticos.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Obtener bioplástico a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), para uso como envoltura de alimentos.

Objetivos específicos

- Caracterizar el almidón extraído de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), para su aplicación en la síntesis de bioplástico.
- Determinar la mejor formulación para la elaboración del bioplástico a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*).
- Evaluar el bioplástico obtenido a través de análisis fisicoquímico, mecánico y de biodegradabilidad para su uso como envoltura de alimentos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

El almidón se produce en la mayoría de las plantas, pero sólo a partir de determinadas especies puede obtenerse industrialmente, una de las alternativas de materia prima para la producción de bioplásticos es el almidón de papa y yuca. La primera alternativa es uno de los productos que se han investigado con mayor frecuencia, gracias a su alto contenido y buenas propiedades que tiene. Por otro lado, la yuca tiene propiedades particulares que la hacen especialmente apta para ciertos procesos industriales como el contenido de amilosa y el tamaño del granulo (Rodríguez, 2012, p.12).

El contenido de almidón en la papa varía entre 15% y 20% de su peso con un alto contenido de fósforo (0,08%) en comparación con almidones de otras fuentes, lo cual le caracteriza como una fuente importante para producción de biopolímeros como envoltura de alimentos y otros materiales (Pardo, 2013, p.290).

El almidón de yuca es una excelente alternativa para trabajar e implementar en él, un proceso de modificación para obtener un tipo de termoplástico. Es importante señalar que este tipo de polímero al descomponerse puede utilizarse como un abono orgánico, el cual puede aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Álvarez *et al.*, 2017, pp.38-39).

De esta manera se obtiene materiales renovables, biodegradables e inofensivos para el medio ambiente. Por tanto, la introducción del almidón en la obtención de plásticos biodegradables es de especial interés por ser un recurso renovable que puede sustituir a los recursos no renovables como el petróleo, del cual se fabrican un sin fin de polímeros sintéticos (Sanchez, 2017, p.25).

La presente investigación se basa en la propuesta planteada por un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador; quienes vienen desarrollando el proyecto de investigación “Obtención de bioplásticos a partir de los productos agrícolas del Ecuador”, además de la revisión literaria de artículos científicos obtenidos de bases de datos confiables y de trabajos relacionados con la obtención de almidón de papa y yuca, también el desarrollo de películas biodegradables, que emplean polímeros derivados de recursos naturales renovables. Asimismo, estandarizar los protocolos de análisis en campo y laboratorio.

Un estudio realizado por Thiruchelvi *et al.*, (2020, p1), indica que los plásticos que no son biodegradables, se convierten en toxinas para humanos, animales y medio ambiente. Por esta razón se plantea como alternativa producir bioplásticos biodegradables que ayuden a combatir el problema de contaminación. Por otro lado, la elaboración de prototipos de bioplásticos a base

de almidón de cebada genera un bajo costo, en comparación con la obtención a partir de polímeros de origen sintético.

La demanda cada vez mayor de plástico se traduce en el agotamiento de recursos naturales como el petróleo, así como en la acumulación de residuos plásticos en el ambiente, esto ha llevado a muchos investigadores a desarrollar plásticos biodegradables, comúnmente conocidos como bioplásticos. Sustituir el plástico sintético por el de origen natural requieren más investigaciones para perfeccionar los bioplásticos y hacerlo más económico (Sagnelli et al., 2016, p.398).

Los bioplásticos son una innovación revolucionaria que puede resultar una excelente alternativa sobre todo para evitar la contaminación del ambiente, ya que son biodegradables, los cuales a base de almidón son la elección más prometedora debido a la abundancia de este polisacárido en la naturaleza. Con ello se mantiene la propuesta de que los bioplásticos son el camino a seguir y pueden ayudar a reducir la dependencia de los plásticos convencionales que han dado lugar a una epidemia de polución plástica (Shafqat et al., 2020, pp.1-2).

1.2. Papa

La diversidad genética de la papa conocida científicamente como *Solanum tuberosum* L., nace en los Andes de América del Sur, cultivada de forma silvestre (Tabla 1-1). Fue conocida primero por Pedro Cieza que menciona la papa en el año de 1538, y desde entonces hasta la actualidad existen evidencias arqueológicas que demuestran que varias culturas antiguas, como la Inca, la Tiahuanaco, la Nazca y la Mochica, llegaron a cultivar la papa (Chulde, 2020, pp.6-10).

En Ecuador se identificó que la mayor demanda de siembra fue de 30 cultivos; de los cuales la papa, es uno de los principales que se siembra, para autoconsumo o comercialización en el mercado local o nacional (Chulde, 2020, pp.6-10).

1.2.1. Origen genético de la variedad

Este tipo de variedad fue creada por el señor Germán Bastidas en 1984. Resulta de los cruzamientos llevados a cabo con las variedades [(Curipamba negra x *Solanum demissum*) x clon resistente con comida amarilla x chola seleccionada] (Guamán, 2019, p.7).

Tabla 1-1: Categorías taxonómicas de la papa (*Solanum tuberosum*)

Descripción	Característica
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Magnoliophyta

Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Género	Solanum
Subgénero	Potatoe
Sección	Petota
Serie	Tuberosa
Especie	<i>Solanum tuberosum</i>
Nombre común	Papa super chola
Nombre científico	<i>Solanum tuberosum</i>
Subespecie	Andígena

Fuente: (Guamán 2019).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

Se debe mencionar que nuestro país cuenta con 3 zonas de producción de papa, como son:

- **Zona centro norte:** Carchi e Imbabura, con el 12% de superficie. Donde se encuentra el mayor rendimiento de cultivo a nivel nacional, teniendo una producción de papa temprana o primor, con mayores precios dentro del mercado, por lo cual es una de las zonas donde se la cultiva durante todos los 365 días del año (Guamán, 2019, p.8).
- **Zona central:** Pichincha Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, cumplen con el 18% de superficie. Donde el cultivo es realizado durante todo el año, con excepción de épocas de invierno; este cultivo se da bajo riesgo, la cual tiene como su mayor ventaja la cercanía a centros de consumo (Guamán, 2019, p.8).
- **Zona centro sur:** Cañar, Azuay y Loja, por sus bajas precipitaciones; el cultivo de papa es baja. Donde únicamente se cultiva por semilleros por el clima que poseen; Cañar es una de las provincias con más producción en esta zona (Guamán, 2019, p.9).

1.2.2. Composición de la papa

100 g de papa contiene 78 g de humedad y 18, 5 g de almidón, son ricas en potasio (560 mg) y vitamina C (20 mg). Reduce ciertas enfermedades como el escorbuto, tuberculosis, sarampión y disentería (Sanchez, 2017, p.19).

1.2.3. Características morfológicas

La papa de variedad superchola es una planta de desarrollo perpendicular con cuantiosos tallos de color verde con tintes púrpura. Cuyo follaje es denso de crecimiento breve que acapara adecuadamente el terreno, sus hojas son de un verde penetrante y sus flores son de color violeta. En cuanto al tubérculo, su estructura física es ovalada con ojos exteriores, de piel de color rosado; con color crema en torno a los ojos, y pulpa de color amarillo intenso (Guamán, 2019, p.15).

En nuestro medio, la papa de la variedad súper chola tiene la siguiente composición química (Tabla 2-1):

Tabla 2-1: Composición química en 100 gramos de papa (*Solanum tuberosum*)

Componente	Cantidad	Unidades
Agua	74,50	g
Proteína	2,10	g
Grasa	0,10	g
Carbohidrato	22,30	g
Fibra	0,60	g
Ceniza	1,10	g
Calcio	9,00	g
Fósforo	47,00	mg
Hierro	0,50	mg
Retinol	3,00	mg
Tiamina	0,09	mg
Riboflavina	0,09	mg
Niacina	1,67	mg
Ácido Ascórbico Reducido	14,00	mg

Fuente: (Guamán 2019).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

1.2.4. Características agronómicas

Las zonas recomendadas para su plantación son las zonas norte y centro, cuya altitud de cultivo comprende de los 2800 a 3400 m.s.n.m. Presenta un grado de maduración tardío de 180 a 210 días y un rendimiento de 20 a 30 t/ha (Guamán, 2019, p.7).

1.2.5. Usos

Para consumo en estado fresco: de preferencia en sopas y en puré; para procesamiento industrial: como papas fritas en forma de hojuelas (chips), a la francesa, congeladas, prefritas y enlatadas (Guamán, 2019, p.7).

1.3. Yuca

La yuca (*Manihot esculenta*) es un tubérculo originario de América del Sur (Tabla 3-1), considerado como el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y el maíz y es el producto básico más importante para 1000 millones de personas, adicionalmente en Colombia la producción de yuca tuvo un aumento de 0,8% anual (Rodríguez, 2012, p.14).

Tabla 3-1: Categorías taxonómicas de la yuca (*Manihot esculenta*)

Descripción	Característica
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Magnoliophyta
Clase	Magnolipsida
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Subfamilia	Crotonoideae
Tribu	Manihoteae
Género	Manihot
Especie	<i>Manihot esculenta</i>
Nombre común	Yuca blanca
Nombre científico	<i>Manihot esculenta</i>

Fuente: (Guamán 2019).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

1.3.1. Composición química de la yuca

Su composición química es básicamente de amilasa y amilopectina, dos carbohidratos de estructura diferente, que son los que le dan las propiedades funcionales al almidón (Tabla 4-1). Ambos se encuentran en proporciones diferentes dependiendo de dónde se obtenga el almidón y de otras variables (Carvajal & Insuasti, 2010, p.20).

La composición química de las raíces de yuca varía mucho, de forma general están constituidas del 64 al 72% de almidón y 4% de azúcares, estos últimos comprenden un 71% de sacarosa, 13% de glucosa, 9% de fructuosa y 3% de maltosa; casi no contiene proteínas (1-2%), lípidos (0,5%) ni vitaminas. Del 40 al 60% de nitrógeno que existe en las raíces de yuca, el 1% está presente como proteína verdadera y el 25 al 30% como compuestos nitrogenados aun no identificados (Aguilar et al., 2017, p.9).

Tabla 4-1: Composición química de la yuca (*Manihot esculenta*)

Componentes	Cantidad
Calorías	38,00 cl
Proteínas	1,36 g
Fibra	1,80 g
Grasas	0,40 g
Grasa total	400,00 mg
Sodio	14,00 mg
Hidratos de carbono	26,90 g
Vitamina A	13,00 µg
Magnesio	66,00 mg
Potasio	764,00 mg
Vitamina B1	0,08 mg
Vitamina B6	0,30 mg
Vitamina C	48,20 mg
Vitamina E	0,19 mg
Calcio	16,00 mg
Fósforo	27,00 mg
Hierro	0,30 mg
Almidón	19,00 %

Fuente: (Menoscal y Rodríguez 2017).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

1.3.2. Almidón de yuca

Uno de los usos más importantes de la yuca es la producción de almidón, el proceso para su extracción del almidón se realiza de la siguiente manera: las raíces se lavan, se pelan y luego son maceradas. A continuación, mediante sistemas de filtrado se separa el almidón y el agua que lo arrastra de las fibras y proteína que contienen las raíces. Finalmente, el almidón se seca y muele para ser empacado y comercializado (Rodríguez, 2012, p.14).

El almidón de yuca tiene propiedades particulares que lo hacen especialmente apto para ciertos procesos industriales como el contenido de amilosa entre el 13 - 15% (Tabla 5-1) y el tamaño del granulo que puede variar de 5µm a 3.5µm, de forma entre redonda y achatada (Rodríguez, 2012, p.14).

Tabla 5-1: Porcentaje de almidón tubérculos y cereales

Tipo de almidón	Nombre científico	Amilosa (%)	Tamaño (µm)
Achira	<i>Canna indica</i>	31,00-38,00	25,00-45,00
Papa	<i>Solanum- tuberosum</i>	16,00-28,00	23,00-31,00
Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	13,00-15,00	11,00-12,00
Maíz	<i>Zea mays</i>	20,00-25,00	12,00-15,00
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	17,00-32,00	13,00-19,00

Fuente: (Rodríguez 2012).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

1.3.3. Aplicaciones

Hoy en día el uso de almidón se centra en la industria alimenticia; además de ser considerado como una nueva fuente de comercialización en sectores como: a) farmacia; b) textil y c) bioplásticos. Por otro lado, el almidón forma parte de la dieta alimenticia más importante para las personas, esto gracias a que posee un alto contenido de calorías (70 y 80%), indispensables para el normal funcionamiento del cuerpo humano (Holguin, 2019, p.27).

Los plásticos son materiales muy versátiles que se utilizan ampliamente en numerosas aplicaciones que incluyen embalaje, agricultura, construcción y construcción y energía. El sector del embalaje es uno de los mercados más importantes para la industria del plástico, siendo la industria de alimentos y bebidas una de los mayores consumidores de productos de embalaje. La industria de los bioplásticos es una tendencia atractiva y de rápido crecimiento en todo el mundo orientada a la producción y uso sostenible de recursos renovables (López *et al.*, 2019, pp.377-378).

El almidón es valorado por su capacidad de modificar la textura, de ser adhesivo, ligante, gelificante, humectante, estabilizante, formador de películas para protección de alimentos, y porque aumenta la vida útil, mejora las características y la calidad de los productos. En la actualidad el uso de envolturas o recubrimientos para conservar el brillo de frutas y verduras permiten extender la vida de almacenamiento. Además, ayuda a reducir la descomposición sin afectar la calidad de las frutas o vegetales recubiertas. Cuando el recubrimiento o película no contiene algún material funcional o activo la oxidación es la causa principal del deterioro de los alimentos afectando negativamente las cualidades organolépticas como el sabor, olor etc., (Sanchez, 2017, p.24).

1.4. Bioplásticos

Es un producto de origen natural generado a través de un ser vivo y que posee propiedades biodegradables, esto le da unas características de fácil degradación en contacto con el medio ambiente. Son fabricados a partir de recursos renovables de origen natural, como el almidón o la celulosa (caña de azúcar, maíz, yuca, remolacha, papa). Para crear un bioplástico, se buscan estructuras químicas que permitan la degradación del material por microorganismos como hongos y bacterias, a diferencia del polipropileno y poliestireno expandido, cuya producción se basa de los derivados del petróleo (García, 2015, p.20).

1.4.1. Generalidades

Los bioplásticos fabricados con material biodegradable como el almidón (maíz, yuca, papa), este no es perjudicial para el ser humano, puesto que posee un alto contenido energético. De manera que el producto es asimilable sin ningún peligro por organismos vivos. Cabe señalar que, los productos bioplásticos comercializados tienen entre 30 y 100% de materiales renovables (Guamán, 2019, p.7).

1.4.2. Componentes para la elaboración de bioplásticos

Para hacer posible la elaboración de un bioplástico a partir de almidón, se requiere la adición de ciertos reactivos en la mezcla que aseguren las condiciones necesarias para su obtención. Por esta razón los bioplásticos precisan de componentes que proporcionen características de plasticidad, humectación, espesantes, resistencia, lubricación y desmoldantes (Guamán, 2019, p.19).

1.4.2.1. Plastificante

De acuerdo con la norma ASTM D883-11 (2011, p.5), “un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para facilitar su procesamiento y mejorar su flexibilidad o distensibilidad”.

1.4.2.2. Agua destilada

Es aquella que resulta del proceso de filtrado una vez que fue sometida a un estricto proceso de filtrado con el propósito de eliminar sus impurezas. A través de este proceso se obtiene agua libre de sales. El agua destilada es utilizada como plastificador para lograr una mejor disgregación estructural del almidón, cuando se está produciendo este tipo de producto (Guamán, 2019, p.20).

1.4.2.3. Glicerina

Es un líquido viscoso, de sabor dulce y no posee color, está compuesta de tres grupos hidroxilos (OH) y su fórmula es $C_3H_8O_3$. Es importante indicar que no es tóxica, de buena solubilidad en agua, en especial cuando está en proceso de ebullición. Por otro lado el agua destilada al igual que el glicerol son consideradas como plastificador, dando suavidad y humectación al almidón (Guamán, 2019, p.20).

1.4.2.4. Ácido acético

Es un líquido incoloro de olor distintivo que presenta solubilidad en agua. Es conocido como ácido etanoico y se encuentra presente principalmente en el vinagre el cual le brinda ese sabor avinagrado. La fórmula es $C_2H_4O_2$ y se utiliza como aditivo principal debido a que opera como modificador químico, reduciendo el entorno hidrofílico del almidón, lo que le otorga peculiaridades hidrofóbicas (Guamán, 2019, p.21).

1.4.2.5. Desmoldante

Es fundamental que el material bioplástico no se agrupe al aparato de elaboración cuando se está produciendo, de tal manera que se puedan retirar sin ningún inconveniente. Por tal razón es importante utilizar lubricantes que operan como desmoldantes, para citar algunos ejemplos podemos mencionar a las sales sódicas, ácidos grasos, ceras, entre otros (Guamán, 2019, p.21).

Con el uso de este tipo de lubricantes resulta más fácil extraer el bioplástico del molde, este proceso se da gracias a que los lubricantes emiten exudados que evitan adherencia entre sí. Es importante indicar que existen elementos propios para cada uno de los polímeros a convertir (Guamán, 2019, p.21).

1.4.3. Tecnologías de procesado de los bioplásticos

La extrusión se realiza mediante la aplicación de presión al material termoplástico con un molde para adquirir la forma deseada. Mediante el flujo continuo de la materia, temperatura y presión a través de un molde permitirá pasar el material fundido para dar forma al bioplástico (Rimac 2018). La inyección de un polímero se realiza en forma cerrada de molde, mediante frío para solidificarlo. La materia en uso es fundida y pasa través de un cabezal y es inyectado a presión alta mediante un molde de refrigeración se le da la forma deseada (Rimac, 2018, p.11).

El termo formado es un proceso donde se transforma el bioplástico en una lámina llevada a altas temperaturas para poder manipular y moldear mediante matrices, el cual se puede realizar al vacío con adecuada presión y temperatura. El cabezal es un molde donde se le inyecta aire y se le da la forma que desee. Por ello el soplado de película se da en espesores entre 20 y 200 μm y anchos de 300 a 1000 mm fabricados mayormente por extrusión (Rimac, 2018, p.11).

1.4.4. Propiedades mecánicas

El ensayo de flexión es determinar la deformación en y su punto de rotura, que es calculada de acuerdo al espesor de la probeta. Se somete a un material mediante probetas a soportar

diferentes fuerzas aplicadas en su eje longitudinal, los cuales son producto de una carga de flexión los que está relacionados con esfuerzos de tracción, compresión y cizalla, para poder medir el esfuerzo y deformación de un polímero (Rimac, 2018, p.11).

1.4.5. Tipos de bioplásticos

Los bioplásticos se dividen en dos grupos: a) bioplásticos a partir de recursos renovables, los cuales tiene origen en la biomasa y b) bioplásticos sintetizados mediante la biotecnológica como sucede en la obtención de la insulina, existen dos tipos de vías biotecnológicas. Los tipos de bioplásticos existentes son: Polímeros a base de almidón, Polilactida (PLA), Polihidroxicanoatos (PHA), Partially biobased (PET), Polycaprolactone (PCL), Alcohol polivinílico (PVOH), Poliamidas (PA). También existen biopoliésteres, derivados de celulosa, bioelastómeros, biocomposites y compuestos a base de almidón (Rhim *et al.*, 2013, p.10).

1.4.6. Biodegradabilidad

Es la capacidad de un material que tiene para descomponerse en sub productos como dióxido de carbono, agua, metano, biomasa o componentes orgánicos, lo cual es producto por la actividad microbiana, el cual puede calificarse mediante ensayos estándares dentro de un determinado tiempo específico donde las condiciones sea las más adecuadas (Rimac, 2018, p.12).

Está relacionada con las diferentes estructuras químicas de los materiales utilizados las cuales son definidas por su origen de la materia prima utilizada. La biodegradabilidad de un compuesto está definida por su estructura química del polímero, asimismo por las condiciones ambientales al cual se encuentra sometido, como por ejemplo el ácido poliláctico PLA y los polihidroxicanoatos son biopoliésteres con base de recursos naturales, en su mayoría los poliésteres son principalmente usados en aplicaciones de embalaje (Rimac, 2018, p.12).

El grado de biodegradabilidad depende de diferentes condiciones ambientales en las que se encuentra el grado de humedad, la presión parcial del oxígeno, temperatura, pH del suelo y composición de la flora microbiana. La biodegradabilidad se puede realizar mediante el método de prueba estándar o el método EN 14046 también conocido como ISO 14885 donde la biodegradabilidad se realiza controladamente (Rimac, 2018, p.12).

1.5. Almidón

El almidón al igual que la pasta son elementos principales que tienen su origen vegetal y por lo general su presentación es en polvo. La función de este tipo de productos es dotar de energía

para el normal desarrollo de las plantas. Además presenta moléculas complejas que se encuentran presentes en tallos, semillas y raíces de cereales, tubérculos, etc., (Holguin, 2019, p.24). Presentan diferentes formas y tamaños que se desarrollan dentro de un rango de 0,5 a 100 μm , y que al mantener un contacto con el agua forman una suspensión temporal, que evitan crear una solución, sin embargo cuando se desintegra esa suspensión temporal a través del proceso de movimiento, los granitos tienen la predisposición de abultarse y no volver a su estado original (Holguin, 2019, p.24).

La composición del almidón es: dos homopolímeros (plástico compuesto por la reproducción de un solo monómero), α -glucosa, y morfológicamente diferentes, gracias a que el amilopectina presenta bifurcaciones que le ofrece una alineación ordenada parecida a un árbol, sin embargo, la amilosa posee una distribución lineal. Por lo general el almidón presenta una concentración 20 % amilosa y 80 % amilopectina (Holguin, 2019, p.24).

1.5.1. El almidón, como materia prima para la elaboración de un bioplástico

El proceso de transformación del almidón seco en un producto bioplástico necesita romper y unir la estructura granular. El almidón sin los respectivos aditivos no posee las características necesarias para desarrollarse como bioplástico, por tal razón estos ayudan a incrementar la flexibilidad del producto final, gracias a su destreza para comprimir la unión de los enlaces de hidrógeno, además de incrementar el área molecular (Avellán et al., 2020, pp.2-3).

Dependiendo de algunas condiciones de procesamiento y almacenamiento como la temperatura y la humedad, el almidón amorfo sufre cambios estructurales después del enfriamiento, basados en: recristalización de la amilosa y la amilopectina en diferentes estructuras cristalinas, separación de fase y reorientación del polímero. Las interacciones moleculares (principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón) que ocurren después del enfriamiento son llamadas retrogradación (Avellán et al., 2020, pp.2-3).

1.5.2. Ventajas del almidón como materia prima, para elaboración de bioplásticos

- Ocupa el segundo lugar de los biopolímeros más abundantes.
- Posee excelentes propiedades mecánicas como: Sellable sin tratamiento superficial.
- Barrera a gases como el CO_2 y O_2 ; así como aromas (semejante al PET y al nylon).
- Intrínsecamente antiestático. Hidrosoluble. Versátil, ya que se puede modificar químicamente.

1.5.3. Desventajas del almidón como materia prima, para elaboración de bioplásticos

- Es muy sensible a la humedad.
- Elevada WVTR (water vapor transmission rate, tasa de transmisión de vapor de agua).
- Alta densidad.
- Procesado complejo por extrusión y fragilidad.

1.5.4. Fuentes de obtención

El almidón está presente en todo el reino vegetal debido a que poseen stocks nutritivos las cuales permiten su desarrollo de manera satisfactoria, en el transcurso del tiempo. Cabe mencionar que los productos donde se pueden obtener este tipo de productos a nivel industrial son la papa y yuca (Holguin, 2019, p.26).

1.5.5. Propiedades del almidón

1.5.5.1. pH

El pH es muy importante para desarrollar las diferentes características del almidón debido a que tiene la atracción de conceder o admitir iones de hidrógeno, el pH generalmente desviado de la media (pH: 7 - 7.5), es el más usados para procesos de modificación (Holguin, 2019, p.29).

1.5.5.2. Solubilidad

El almidón de acuerdo al porcentaje de amilosa y amilopectina tiene la capacidad de disolverse en agua, es decir cuando está por arriba de la temperatura de gelatinización (Holguin, 2019, p.29).

1.5.5.3. Absorción de agua

Es la capacidad que tiene el gránulo de almidón de absorber y retener agua, es importante indicar que tiene relación directa y a su vez está ligado directamente con la temperatura de gelatinización por cuanto a medida que aumenta la temperatura, la retención de agua es mucho mayor (Holguin, 2019, p.29).

1.5.5.4. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento del almidón es una propiedad de los gránulos definitiva, debido a que absorben agua gracias al aumento de la temperatura de gelatinización (Holguin, 2019, p.29).

1.5.5.5. Sinéresis

Es la propiedad que tiene el almidón de liberar agua que se encuentra dentro del gránulo; esta liberación genera un reagrupamiento al interior de los átomos de amilosa y amilopectina, gracias al proceso de retrogradación (Holguin, 2019, p.29).

1.5.5.6. Viscosidad

Es la resistencia que poseen las moléculas de algunos líquidos frente a la deformación, esto se genera gracias a las fuerzas de adherencia que posee un fluido. Esta propiedad es parte de un líquido en movimiento debido a que sus moléculas están en estado estacionario (Holguin, 2019, p.30).

1.5.5.7. Gelatinización

La gelatinización se produce cuando los gránulos de almidón son vertidos en agua fría y se humedecen produciendo un hinchamiento alrededor de 10 y 20%, pero cuando se añade temperatura se produce una pasta. Vale la pena indicar que cuando se produce este tipo de fenómeno ya no hay manera de regresar a su estado original, debido a que los granitos se restauran estructuralmente al estar en contacto con agua caliente (Figura 1-1) (Holguin, 2019, p.30).

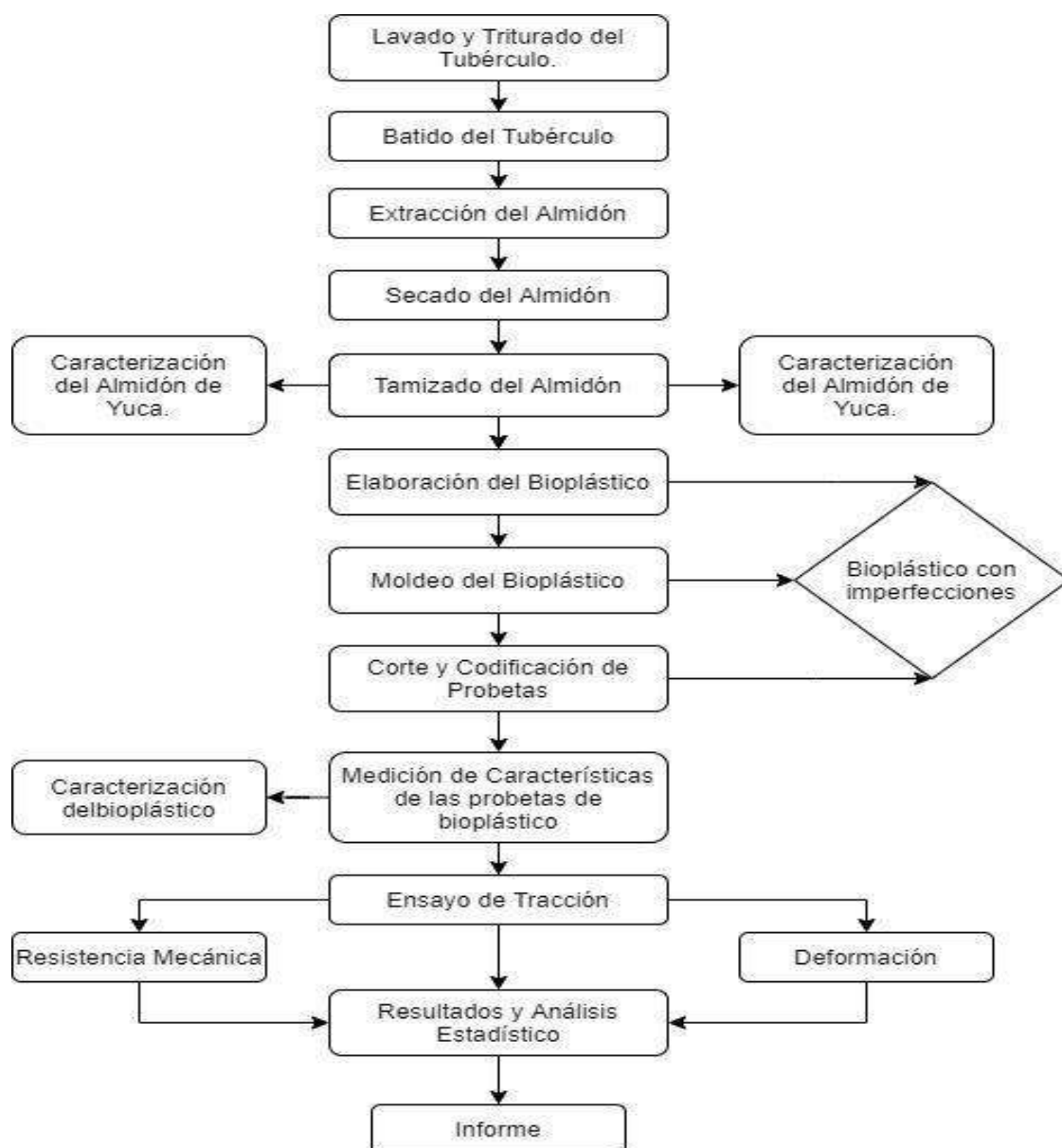


Figura 1-1. Diagrama del procedimiento de elaboración de bioplástico.

Fuente: Guamán, (2019, p.21).

1.6. Fundamentos para la caracterización del bioplástico

1.6.1. Determinación de humedad

La humedad es la cantidad de agua dispersada en forma de vapor, dentro de un sólido o condensado en una superficie. Los procesos de secado son los más utilizados para determinar el contenido de humedad en determinados productos, los cuales se llevan a cabo por calentamiento y en base a metodologías estandarizadas. Conocer la cantidad de humedad de un producto

permite determinar la función respecto a la certificación de calidad a escala industrial (Guamán, 2019, p.21).

La estimación del contenido de humedad mediante el proceso de desecación en la estufa, involucra la disminución del contenido de humedad a través de la evaporación del H₂O. Por consiguiente, el procedimiento en laboratorio se sostiene tanto en la estufa como en la balanza analítica, además de un correcto preparativo de la muestra y su posterior enfriado y pesaje hasta lograr un valor invariable (Guamán, 2019, p.21).

1.6.2. Determinación del espesor

El espesor está relacionado con el grosor de un elemento, o sea, indicar que tan grueso o ancho es la capa de un determinado material. En el área de la ingeniería el espesor es conocido como la resistencia o elasticidad de un material y se puede determinar de forma directa mediante un micrómetro (García, 2015, p.31). Una de las medidas más críticas en la producción industrial de revestimientos, es el espesor de la película seca, debido a que ofrece un reporte esencial con respecto a la vida útil del material. Por tal razón la competitividad del producto acorde a los objetivos previstos y el aspecto que presenta, garantizan la certificación del mismo a nivel local, nacional e internacional (García, 2015, p.31).

1.7. Contaminación ambiental

La contaminación ambiental es un cambio nocivo en las características físicas, químicas o biológicas de la calidad del aire, agua y tierra, que pueden causar afecciones nocivas a la vida humana o a las especies beneficiosas. Las causas principales de la contaminación son los procesos industriales, condiciones de vida del ser humano que puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables. Por consiguiente los elementos de contaminación son los residuos de las actividades realizadas por el ser humano organizado en sociedad (Menoscal & Rodríguez, 2017, p.4).

1.8. Residuos sólidos

Son aquellos residuos provenientes de las actividades humanas y animales, que habitualmente son sólidos y que son desechados como inútiles o sobrantes. El término “Residuo Sólido” es amplio y comprende todos aquellos desechos de la colectividad urbana como la acumulación más homogénea de los residuos agrícolas, industriales y minerales (Menoscal & Rodríguez, 2017, p.4).

1.9. Residuos biodegradables

Son aquellos residuos de origen natural o químico que tienen la capacidad de descomponerse con mayor facilidad en el medio. Aquí podemos encontrar a las frutas, verduras, desperdicios de comida, maderas y otro tipo de material orgánico que pueda ser convertidos muy fácilmente en material orgánico (Menoscal & Rodriguez, 2017, p.4).

1.10. Láminas biodegradables

De acuerdo a la norma ASTM D 5488-944, la biodegradabilidad es la facilidad con que un material se puede trastornar en CO₂, CH₄, H₂O y dispositivos orgánicos o biomasa, en donde la unidad predominante es la acción enzimática (Rodríguez, 2012, p.12).

Este tipo de láminas biodegradables se pueden conservar en condiciones normales de almacenamiento y ser utilizadas durante unos 18 meses, sin tener ningún tipo de alteración de la estructura o del material. Lo más sugestivo de las láminas biodegradables es que no van a causar daños al ambiente, por lo que se garantiza la calidad, la resistencia a la tracción y a la perforación, contando también con un sellado fiable, siendo tan fuertes como las bolsas de polietileno de uso tradicional (Rodríguez, 2012, p.12).

Los plásticos biodegradables son semejantes a los convencionales tanto en sus propiedades químicas y mecánicas; pero contrario a los polímeros convencionales no son creados para una permanencia indefinida (Rodríguez, 2012, p.12).

CAPÍTULO II

2. METODOLÓGIA

2.1. Lugar de realización

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativa ya que el propósito fue obtener almidón a partir de la papa y yuca en base a diferentes formulaciones, como una nueva alternativa de aplicación en bioplásticos.

2.3. Diseño de investigación

El estudio es de tipo experimental debido a que se desarrolló en condiciones de laboratorio mediante la manipulación las variables experimentales en condiciones controladas. Investigación que resultó útil para evaluar que formulación debería considerarse más adecuada para la aplicación de interés.

De acuerdo con Ferré, (2002, p.1) el “diseño factorial 2^k posee k factores cada uno a 2 niveles, cuyos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos”.

Es importante indicar también que se utilizó la metodología propuesta por Charro, (2015, p.4), en su estudio sobre la “Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata”, pero con ciertas modificaciones, puesto que se trabajó con el diseño factorial 2^2 el cual tiene un punto central y cuatro puntos factoriales, el mismo que estudia el efecto de dos factores (almidón y glicerina) considerando dos niveles: a) nivel bajo (-) y b) nivel alto (+) en cada uno.

2.4. Población de estudio y/o tamaño de muestra y/o método de muestreo de muestra

La población objeto de estudio fue la papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad super chola y yuca (*Manihot esculenta*), provenientes de los mercados de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. La cantidad de muestra recolectada fue de 10 kg de cada una de las especies.

Para la obtención del material vegetal (tubérculos) se tomó en cuenta los siguientes criterios:

Criterios de inclusión:

Los mejores tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*) seleccionados fueron los que presentaron buen estado, bien formados, de gran tamaño con un peso promedio de 250,00 g; y libre de plagas y enfermedades.

Criterios de exclusión:

Aquellos tubérculos que presentaron daños por acción de animales, insectos o deteriorados por el agua. Tubérculos que se encontraron en proceso de descomposición o con manchas necróticas por la presencia de mohos.

2.5. Tamaño de la muestra

10 kg de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad super chola.

10 kg de yuca (*Manihot esculenta*).

2.6. Materiales, equipos y reactivos

- **Materia Prima**

- Papa (*Solanum tuberosum*)
- Yuca (*Manihot esculenta*)

- **Reactivos**

- Agua destilada
- Glicerina
- Ácido acético

- **Materiales**

- Vaso de precipitación de 100 ml
- Vaso de precipitación de 250 ml
- Vaso de precipitación de 600 ml
- Reverbero
- Malla de asbesto

- Varilla de agitación
- Probeta de 100 ml
- Embudo
- Espátula
- Crisol
- Pinza para crisol
- Envase de recolección de muestra de orina
- Placas petri de vidrio
- Bandeja de Vidrio
- Cernidor plástico
- Media nylon
- Recipientes plásticos con tapa hermética
- Papel aluminio
- Mortero de porcelana con pistilo
- Tamiz de 52 μm
- Brocha WILSON
- Cronómetro
- Micrómetro

- **Equipos**

- Licuadora Oster
- Estufa
- Mufla
- Desecador
- Baño María
- Balanza analítica HDM
- Cámara fotográfica
- Termómetro digital
- Espectrofotómetro Jasco FTIR-4100

2.7. Metodología

Hipótesis:

Hipótesis general:

- La papa y yuca son una fuente de extracción de almidón que es parte fundamental en la formulación de láminas de bioplástico que servirán como envoltura de alimentos.

Hipótesis específicas:

Hipótesis nula para la extracción del almidón de papa.

- Los diferentes tratamientos de extracción de almidón de papa no influyen en el porcentaje de rendimiento.

Hipótesis alternativa para la extracción del almidón de papa.

- Los diferentes tratamientos de extracción de almidón de papa influyen en el porcentaje de rendimiento.

Hipótesis nula para la extracción del almidón de yuca.

- Los diferentes tratamientos de extracción de almidón de yuca no influyen en el porcentaje de rendimiento.

Hipótesis alternativa para la extracción del almidón de yuca.

- Los diferentes tratamientos de extracción de almidón de yuca influyen en el porcentaje de rendimiento.

Hipótesis nula para la formulación del bioplástico como envoltura de alimentos.

- Las formulaciones del bioplástico a partir del almidón de papa y yuca no influyen en sus propiedades físicas químicas.

Hipótesis alternativa para la formulación del bioplástico como envoltura de alimentos.

- Las formulaciones del bioplástico a partir del almidón de papa y yuca influyen en sus propiedades físicas químicas.

Para el desarrollo de la investigación se siguieron las etapas que se detallan a continuación:

- Extracción de almidón a partir de la papa y yuca para su caracterización en base al diseño factorial 2².
- Elaboración del bioplástico a partir de un muestreo experimental.
- Caracterización del bioplástico, análisis de parámetros físicos: grosor, humedad, permeabilidad, biodegradabilidad y parámetro mecánico: ensayo de aguante a la tensión.

2.7.1. Extracción de almidón a partir de productos de la papa y yuca para su caracterización en base al diseño factorial 2²

- **Selección de la papa y yuca:** Con base de una revisión previa de fuentes bibliográficas relacionadas con el contenido de almidón presente en la papa y yuca se establece la especie con mayor contenido de almidón.
- **Clasificación y lavado de la materia prima:** Los criterios de inclusión para la selección de papa y yuca fueron aquellas con buena apariencia física y homogénea para su posterior lavado con estropajo y agua para eliminación de residuos orgánicos.
- **Secado y pesado de la materia prima:** Dejar secar la papa y yuca al aire libre para posteriormente registrar su peso de 10 kilogramos.
- **Triturado y filtrado:** Pesar 200 g de papa y yuca con 500 ml de agua destilada en una licuadora por 1 minuto a la primera revolución, filtrar a través de un tamiz plástico.
- **Lavado:** Se retira el sobrante de la muestra, y se realizan varios lavados con agua hasta observar que la misma sea transparente.
- **Decantado:** Se recoge el agua de lavado y se coloca en un recipiente con tapa hermética, dejar decantar por 12 horas, y luego eliminar el agua sobrenadante.
- **Secado:** Se recoge el sedimentado (almidón) en bandejas de aluminio y dejar secar en la estufa a 50 °C por 14 horas.
- Pesar el almidón, triturar en el mortero y tamizar el almidón obtenido en un tamiz de 53µm.
- **Acondicionamiento:** Finalmente se empaco el almidón obtenido y se depositó en un lugar fresco.

Elaboración del bioplástico a partir de muestreo experimental

- Formulaciones

Para la obtención de bioplásticos, se desarrolló las formulaciones (Tabla 1-2).

Tabla 1-2: Formulaciones del bioplástico de almidón de papa y yuca

Formulación	Porcentaje Peso a Peso			
	Glicerina (ml)	Ácido Acético (ml)	Almidón (g)	Agua Destilada (ml)
1	1,00	2,00	2,50	30,00
2	1,00	2,00	2,60	30,00
3	1,10	2,00	2,50	30,00
4	1,10	2,00	2,60	30,00

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El espesor se determinó de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana INEN 2542 y la norma española UNE-ISO 4593. El procedimiento para la determinación del espesor fue por medición directa con micrómetro digital, entre 0 y 25 mm con una exactitud de 0.001mm. La estructura sólida, se sometió a pruebas de aguante a la tensión, en base a la normativa INEN 2637, la prueba de tracción permitió la determinación de un punto final de la degradación, es decir el un punto frágil para películas y láminas de polietileno/polipropileno degradable (Tabla 2-2).

Tabla 2-2: Prueba de resistencia del bioplástico

Características	Espesor
Largo de la probeta	165,00 mm
Ancho de la probeta	20,00 mm
Espesor de la probeta	1,00 mm
Velocidad	5,00 +/- 25,00% mm/min
Tensión nominal	0,10 mm/min

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

La permeabilidad al vapor de agua se determinó en función de la norma ASTM E96 “Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials”, esta norma indica que, por medio de aparatos simples, se puede obtener valores fiables de transferencia de vapor de agua a través de materiales permeables y semipermeables.

La biodegradabilidad se determinó de acuerdo con la norma ASTM D-5488-94d.

El ensayo de dureza o compresión se estableció a través del proceso de SHORE, el mismo que analiza las superficies como metales, gomas y plásticos. Además, esta prueba es verificada mediante la norma ASTM D695 (Tabla 3-2).

Procedimiento

1. Elaborar las probetas, alisando las superficies.
2. Situar la probeta en el portaprobetas.
3. Elevar el martillo del escleroscopio hasta la altura origen h.
4. Soltar el martillo y registrar la altura del rebote.
5. Repetir esto mismo para todas las muestras a ensayo.

Tabla 3-2: Prueba de compresión o dureza del bioplástico

Características	Valor
Largo de la probeta	20,00 mm
Ancho de la probeta	20,00 mm
Espesor de la probeta	< 6,40 mm
Humedad relativa	50,00 %
Temperatura	23,00+/- 2,00 °C

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

2.8. Caracterización del almidón: Determinación de parámetros físico químicos

2.8.1. Prueba de almidón (Lugol)

1. Pesar aproximadamente 1 g de almidón en un tubo de ensayo.
2. Colocar 10 ml de agua en el tubo de ensayo.
3. Poner de dos a tres gotas de lugol.
4. Observar la reacción del lugol con el almidón.

2.8.2. Contenido de materia seca (Humedad)

Se determinó mediante técnicas establecidas en la ICONTEC, 2002

Procedimiento

1. Se registro el peso del crisol desocupado, nítidos y en frio, posteriormente se secó durante 5 h00 en una estufa a 80 °C (P1).
2. Luego se registró el peso del crisol vacío con 20 - 30 g de la muestra de almidón (P2).
3. Posteriormente se ingresó el crisol con la muestra en la estufa a 80 °C/24 h00.

4. Transcurrido este tiempo se dejó reposar los crisoles con el almidón en un desecador hasta alcanzar peso constante (30 - 45 minutos) (P3).
5. Finalmente se registró el peso de los crisoles con la muestra de almidón seca.

Ecuación:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{100 \times (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \quad (\text{Ec.1})$$

2.8.3. Fibra

Se determinó mediante técnicas establecidas en la NTE INEN 0522, 1981.

Procedimiento

1. Pesar 2 g de muestra seca y desengrasar en crisoles filtrantes.
2. Colocar en el equipo Dosi-fiber y agregar 250 ml de ácido sulfúrico 1,25%.
3. Encender la parrilla y calentar hasta ebullición por 1 hora.
4. Filtrar al vacío y lavar con 250 ml de agua destilada caliente.
5. Adicionar 250 ml de NaOH 1,25% y ebullición por 1 hora.
6. Filtrar al vacío y lavar con 250 ml de agua destilada caliente.

Ecuación:

$$\%F = \frac{P1 - P}{m} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

F= Porcentaje de fibra.

P1= Peso del crisol más residuo seco en estufa.

P= Peso del crisol más cenizas después de incineración.

m= Peso de la muestra.

2.8.4. Proteína

Se determinó mediante técnicas establecidas en la NTE INEN 0519, 1981.

Procedimiento

1. Pesar 40 mg de muestra seca y colocar en el balón de Kjeldhal.
2. Adicionar 1,5 g de NaSO₄; 40 mg HgO, 2 ml de H₂SO₄ concentrado.
3. Colocar en el digestor y calentar hasta transparencia.

4. Adicionar 4 ml de agua destilada para disolver.
5. Colocar en un vaso de 50 ml, 8 ml de NaOH al 40% y 2 ml de Na₂S₂O₃ al 5% y verter dejando pasar lentamente al balón de destilación.
6. Recibir el destilado en un matraz que contenga una mezcla de 12 ml de H₃BO₃ al 4% y 8 ml de agua destilada al que se añade 3 gotas de indicador rojo de metilo y verde.
7. Titular el destilado con HCl 0,1N.

Ecuación:

$$\%P = 1,4 \times f \times V \times \frac{N}{m} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

P= Porcentaje de proteína.

f= Factor para transformar el %N₂ en proteína.

V= Volumen de HCl empleado para titular la muestra en ml.

N1= Normalidad de HCl.

m= Peso de la muestra.

2.8.5. Grasa

Se determinó mediante técnicas establecidas en la NTE INEN 523, 1980-12.

Procedimiento

1. Pesar 2 g de almidón y colocar en una envoltura de papel filtro inmediatamente colocar en el extractor soxhlet.
2. Pesar el balón previamente tarado.
3. Embonar el extractor soxhlet con el balón y adicionar 250 ml de éter pasando por la muestra y luego colocar el condensador.
4. Encender el reverbero y extraer por 2 o 4 horas.
5. Retirar el balón y evaporar el solvente.
6. Colocar el balón en la estufa hasta peso constante.

Ecuación:

$$\%G = \frac{(P1 - P)}{m} \times 100 \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

G= Porcentaje de grasa.

P1= Peso del balón más la grasa.

P= Peso del balón tarado.

m= Peso de la muestra.

2.8.6. Densidad aparente

Se determinó mediante técnicas establecidas en *Smith, 1967*.

Procedimiento

Densidad aparente del almidón suelto

1. Registrar el peso de la probeta desocupa.
2. Añadir diligentemente con una paleta la muestra de almidón a la probeta de 250 ml por medio de un embudo hasta completar el volumen.

Densidad aparente del almidón empacado

1. Mantener la probeta con la muestra de almidón en un agitador y añadir almidón hasta su valor mínimo.
2. Efectuar la agitación durante 5 min., a una periodicidad constante, de manera tal que la probeta vibre rítmicamente con el pedestal de madera.
3. Calcular el volumen de ejemplar envasada.

Ecuación:

$$\begin{aligned} & \text{Densidad aparente del almidón suelto (g/ml)} \\ & = \frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón suelto})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía (g)}}{250 \text{ ml}} \end{aligned} \quad (\text{Ec.5})$$

$$\begin{aligned} & \text{Densidad aparente del almidón empacado (g/ml)} \\ & = \frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón empacado})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía (g)}}{\text{Volumen de muestra empacada (ml)}} \end{aligned} \quad (\text{Ec.6})$$

2.8.7. Viscosidad Brookfield

Se determinó mediante técnicas establecidas en ISI, 2002

Procedimiento

1. Se registro un peso de 25,0 g de almidón y se diluyo en H₂O destilada y se aforo a 500 ml.
2. Se añadió la suspensión en un vaso de precipitación (1000 ml) y se calentó hasta hervir (aprox. 5 minutos).
3. Se deajo enfriar el gel hasta 25 °C y tomar una alícuota de 15 ml
4. Medir la viscosidad a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM.

2.8.8. Temperatura de gelatinización

Se determinó mediante técnicas establecidas en Grace, 1977.

Procedimiento

1. Pesar 10 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100 ml.
2. Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 ml a 85 °C.
3. Tomar 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 ml.
4. Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.
5. Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.
6. Leer la temperatura de gelatinización.

2.8.9. Índice de solubilidad en agua

Se determinó mediante técnicas establecidas en *Anderson et al., 1969*.

Procedimiento

1. Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.
2. Pesar en los tubos 1,25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 ml de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).
3. Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.

4. Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 30 minutos.
5. Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.
6. Tomar 10 ml del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 ml (previamente pesado).
7. Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.
8. Pesar el tubo de centrifuga con el gel.
9. Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

Ecuación:

$$\text{Índice de solubilidad de agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra (g) bs}} \quad (\text{Ec.7})$$

2.8.10. pH

Se determinó mediante técnicas establecidas en *ISI, 1999*.

Procedimiento

1. Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0.
2. Mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 ml de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos.
3. Filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1.
4. Tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decima.

2.8.11. Contenido de cenizas

Se determinó mediante técnicas establecidas en *AOAC, 2000*.

Procedimiento

1. Pesar aproximadamente 5,0 g de almidón en un crisol de porcelana que ha sido previamente lavado, secado en un horno y pesado.
2. Colocar el crisol de porcelana con la muestra en la mufla e incinerar a 550 °C durante tres horas y media.
3. Enfriar el crisol y las cenizas en un desecador hasta tener peso constante.

4. Pesar el crisol con las cenizas y calcular la cantidad de cenizas.
5. Expresar los resultados como porcentaje de cenizas totales.

Ecuación:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(P - p) \times 100}{M} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

P= Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p= Masa de crisol vacío en gramos.

M= Masa de la muestra en gramos.

2.9. Diseño experimental

Una vez definidas las variables y los parámetros de toda la experimentación, se procedió a diseñar un modelo experimental que permitió determinar condiciones para optimizar propiedades específicas en la obtención de las películas biodegradables. Se generaron 4 tipos de formulaciones, por cada una de las especies, considerando la cantidad de almidón, glicerina, agua y ácido acético, puesto que contribuyen a la biodegradabilidad del material resultante. El diseño experimental para el bioplástico, considero tres replicas para cada formulación dando un total de 16 unidades experimentales por especie (Tabla 4-2).

Tabla 4-2: Diseño experimental para el bioplástico de almidón de papa y yuca

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

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

2.10. Elaboración del bioplástico

Para la elaboración del bioplástico el proceso a realizar es el siguiente:

El segundo proceso de la investigación consistió en la elaboración del bioplástico, el cual permitió determinar las formulaciones adecuadas. Una de las formulaciones recomendadas es

pesar 5 g del polímero extraído en un vaso de precipitación de 100 ml, verter 60 ml de agua destilada en el recipiente hasta homogenizar la mezcla durante 5 minutos. Colocar la disolución en el reverbero, agitar de forma constante hasta llegar a la temperatura de gelatinización, incorporar el ácido acético 4 ml (conservante) y glicerina 2 ml (plastificante).

Posteriormente se trasvasa la mezcla viscosa en moldes de vidrio de 19*14 cm, se seca en la estufa a 50°C por 15 minutos y luego a temperatura ambiente por 12 horas hasta que se puedan sacar la lámina del molde con facilidad. Durante el desarrollo de la investigación fue necesario realizar 4 formulaciones por tipo de almidón, de tal manera que mejore las propiedades físico, químicas y mecánicas del bioplástico.

2.11. Caracterización del bioplástico

2.11.1. Solubilidad en el agua

1. Cortar las películas en dimensiones de 2,5 cm x 2,5 cm.
2. Colocar las películas secas en frascos pequeños y colocar 80 ml de agua destilada, con una agitación de 100 RPM durante 1 hora.
3. Posteriormente filtrar y colocar las películas en una estufa a 40°C, hasta que se seque y luego a 105°C hasta que obtengan peso constante.

Ecuación:

$$\% \text{ de Solubilidad} = \left(\frac{\text{peso inicial} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} \right) \times 100 \quad (\text{Ec.9})$$

2.11.2. Humedad

La humedad se determinó pesando las películas secadas al ambiente y posteriormente, colocadas en un crisol previamente tarado en la estufa a 105°C, durante 24 horas.

Ecuación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso inicial de la película} - \text{peso final de la película}}{\text{peso inicial de la película}} \times 100 \quad (\text{Ec.10})$$

2.11.3. Permeabilidad al vapor de agua

Se empleó el método desecante, donde se utiliza gel de sílice previamente activado a 105°C por 24 horas.

1. Llenar las $\frac{3}{4}$ partes de los tubos de ensayo con el gel de sílice.
2. Medir altura y el diámetro de los tubos de ensayo utilizados para este método.
3. Cortar las películas en dimensiones de 2,5 x 2,5 cm para cada muestra, estas películas se colocan en la boca de los tubos de ensayo y se deberá sellar herméticamente.
4. Posterior a esto son colocados en un desecador con un ambiente de humedad relativa 48%-52%, en el fondo del desecador se colocó una solución saturada de cloruro de sodio y a una temperatura de 20°C-27°C, las muestras fueron pesadas durante 6 horas consecutivas.

Ecuación:

$$WVTR = \frac{(Q/t)}{A} \text{ expresado en } \left(\frac{g}{h \times m^2} \right) \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

Q= Peso ganado del desecante en gramos

WVTR= Tasa de transmisión de vapor de agua

t= Tiempo de la prueba en horas

A= Área total de la biopelícula

2.11.4. Determinación de la biodegradabilidad

Este análisis de biodegradabilidad se basó en la metodología descrita por López et al. (2010, p.14) y por Versino y García (2018, p.9). Con algunas modificaciones, el procedimiento es el siguiente:

Las muestras de láminas de bioplástico de almidón de papa y yuca (extraído y comercial) fueron cortadas en cuadrados de 3x3cm y enterradas en recipientes a una cierta profundidad desde la superficie, con el fin de asegurar las condiciones de degradación aeróbica a temperatura ambiente, condición anaeróbica y medio acuoso, por un tiempo de exposición de 42 días durante los meses de julio-agosto.

Se evaluó la pérdida de peso cada 6 días en condiciones de simulación de medio aeróbico, anaeróbico y acuoso. Se consideró una muestra para cada lámina de bioplástico y el porcentaje de pérdida de peso se determinó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100\% \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

P_i = peso inicial de la lámina de bioplástico.

P_f = peso final de la lámina de bioplástico.

2.11.5. Análisis de IR (Infrarrojo)

El análisis por infrarrojo se realizará utilizando un espectrofotómetro infrarrojo, con un detector DTGS, una resolución de 4 cm⁻¹ y la técnica de transmisión para el almidón y las mezclas. La morfología de las láminas procesadas se determinará mediante un análisis de dispersión, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 18553. Cada muestra se corta con un microtomo en seis trozos de 35 μm de espesor. Se toman cinco fotografías con luz transmitida a 100 aumentos y una a 50, con el fin de tener una visión global del fenómeno de dispersión (Avil, 2006, pp.11-12).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización del almidón extraído de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), para su aplicación en la síntesis de bioplástico

Para la caracterización del almidón de papa y yuca y su aplicación en la síntesis del bioplástico es importante conocer la forma y tamaño del producto; en lo referente a la papa su forma redonda, ovalada o cónica no mostró ninguna diferencia, mientras tanto que la yuca por su forma cilíndrica y oblonga presenta cierta desventaja frente a este producto.

3.1.1. Descripción organoléptica de la papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Dada la particularidad de que esta investigación se desarrolló con los productos mencionados anteriormente y en donde se evaluaron algunos de los parámetros como: olor, sabor, color, textura interna y textura externa. Con estos parámetros se realizaron comparaciones los cuales pueden tener cierto grado de subjetividad en los resultados (Tabla 1-3).

Tabla 1-3: Descripción organoléptica de la papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Producto	Características	
Papa	Olor	Característico
	Sabor	Dulce
	Color	Amarillo
	Textura interna	Suave
	Textura externa	Rugosa
Yuca	Olor	Característico
	Sabor	Dulce
	Color	Blanco
	Textura interna	Suave
	Textura externa	Rugosa

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El olor de la papa y yuca es característico, esto se debe que existen pocas sustancias volátiles en los tubérculos, mientras que el sabor propio de estos tubérculos fue dulce. El color de la pulpa

de la papa fue amarillo y de la yuca blanco. La textura interna y externa fue suave y rugosa respectivamente (Tabla 1-3). En conclusión se puede indicar que en el mercado se pueden encontrar una variedad de estos tubérculos con características propias de cada una de las especies, convirtiéndose así en materias primas de fácil obtención (Zárate et al., 2016, p.8).

3.1.2. Descripción organoléptica del almidón de la papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Como se puede observar en la Tabla 2-3, la descripción organoléptica del almidón de papa y yuca muestran homogeneidad, lo cual indica que son productos de características específicas. Estos polisacáridos ofrecen propiedades beneficiosas en el procesamiento debido a que presenta una alta consistencia en la gelificación, reduce su viscosidad, la cual adquiere fuerza de adhesión y forman una película flexible (Ramírez et al., 2011, p. 16). Estas características las convierten en un producto ideal para la producción de bioplásticos.

Tabla 2-3: Descripción organoléptica del almidón de papa y yuca

Producto		Características
Papa	Olor	Característico
	Sabor	Dulce
	Color	Blanco
	Textura	Granular
Yuca	Olor	Característico
	Sabor	Característico
	Color	Blanco
	Textura	Granular

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.3. Rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Una vez establecido el procedimiento de la extracción de almidón de papa a partir de diferentes ensayos; se cuantificaron los pesos de los materiales que intervinieron en cada etapa del proceso con el fin de determinar el balance de materia y el rendimiento de la extracción de almidón. En la tabla 3-3 se muestra el rendimiento porcentual obtenido en las distintas repeticiones, al igual que las variables ideales a las cuales se obtuvo mayor porcentaje de almidón, sin embargo, para obtener las variables apropiadas se realizó un ensayo previo donde se precisó el número de revoluciones entre 5000 a 15000 RPM y un tiempo de extracción de 30 a 60 segundos para definir los tratamientos óptimos.

Tabla 3-3: Rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

No.	Tratamiento	Variables RPM/t(seg)	Repetición	Volumen agua (ml)	Peso (g)			Rendimiento (%)		Tiempo secado (H)
					Papa	Almidón		R	Promedio	
						R	Promedio			
1	T1	5000/60	R1	500	200	25,30			12,65	24
2			R2			26,75	26,15	104,61	13,37	
3			R3			25,96		12,98		
4			R4			26,60		13,30		
5	T2	15000/60	R1			26,20			13,10	24
6			R2			24,10	23,68	94,74	12,05	
7			R3			22,95		11,47		
8			R4			21,49		10,75		
9	T3	5000/30	R1			25,84			12,92	24
10			R2			26,23	25,82	103,29	13,11	
11			R3			24,77		12,39		
12			R4			26,45		13,23		
13	T4	15000/30	R1			28,61			14,30	24
14			R2			21,96	25,15	100,60	10,98	
15			R3			25,84		12,92		
16			R4			24,19		12,10		

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El análisis de rendimiento de extracción de almidón de papa, por el método húmedo, establecidas en los 4 tratamientos, se realizaron a una temperatura de secado de 50°C. Todos los ensayos fueron realizados a tiempo constante (24 h), donde el valor medio del rendimiento fue de 12,60%. Sin embargo, el T1 mostro el mejor rendimiento con un valor de 13,08% y el de menor rendimiento fue el T2 con 11,84% (Tabla 3-3). La diferencia entre los porcentajes obedece a las pérdidas ocasionadas por los restos de materiales que quedaron en los recipientes donde se elaboró las distintas formulaciones, así como a la pérdida de agua ocasionada por el proceso de secado.

Estos valores se asemejan con el estudio realizado por Zárate et al., (2016, p. 9), sobre la obtención y determinación de almidón natural de clones de patata criolla (*Solanum tuberosum*), donde obtuvieron rendimientos de almidón de papa entre 16 y 23%.

El T2 en relación al T1 presentó una disminución del 1,24% debido a que se incrementó las revoluciones y se mantiene el tiempo de licuado de 60 segundos, mostrando un aspecto pegajoso el cual no permite filtrar con facilidad afectando su rendimiento. El T3 en relación al T1 presentó una disminución del 0,17% debido a que se disminuyó el tiempo de licuado a 30 segundos, factor importante para completar el proceso de trituración. El T4 en relación al T1 presentó una disminución del 0,51% debido a que se incrementó las revoluciones a 15000 RPM y se disminuyó el tiempo a 30 segundos dando como resultado trozos grandes de materia prima.

3.1.3.1. Comparación del rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Las concentraciones medias del rendimiento de extracción de almidón de papa, así como los valores de desviación estándar obtenidos para cada uno de los tratamientos se indican en la Tabla 4-3, los cuales al ser comparados con los datos reportados por Zárte et al., (2016, p. 9), con un rendimiento del 16 al 23%, presenta diferencias superiores. Por tal razón los valores medios de rendimiento variaron de 11,84 a 13,08 %; con una desviación estándar de 0,33 a 1,40; una varianza de 0,11 a 1,96 y un coeficiente de variación de 2,53 a 11,12%.

Tabla 4-3: Análisis estadístico descriptivo del rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Tratamiento	Variable	Media	Error estándar \bar{X}	SD	Varianza	Coef Var	Mínimo	Máximo
T1	5000/60	13,08	0,17	0,33	0,11	2,53	12,65	13,37
T2	15000/60	11,84	0,50	0,99	0,99	8,38	10,75	13,10
T3	5000/30	12,91	0,19	0,37	0,14	2,87	12,39	13,23
T4	15000/30	12,58	0,70	1,40	1,96	11,12	10,98	14,30

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El análisis de varianza permitió determinar mediante Anova con un 95% de confiabilidad, que a pesar de que existe una ligera diferencia en el rendimiento de extracción de almidón de papa no son significativamente diferentes entre tratamientos puesto que se alcanzó un valor p de 0,26 que es mayor a 0,05; pues la variable RPM vs Tiempo, no incide en el rendimiento de extracción, por consiguiente, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la alternativa (H_a). Es decir, las cuatro variables están produciendo similares cantidades de almidón de papa (Tabla 5-3).

Tabla 5-3: Análisis de varianza para rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Tratamiento	3	3,59	1,20	1,50	0,26	Ns
Error	12	9,56	0,80			
Total	15	13,15				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

La Figura 1-3, muestra la distribución de rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), por tratamiento, estos valores están influenciados por las RPM y el tiempo de licuado. El Gráfico 1-3, se observa letras iguales lo que indica que todos los tratamientos influyen de la misma manera en el rendimiento del almidón.

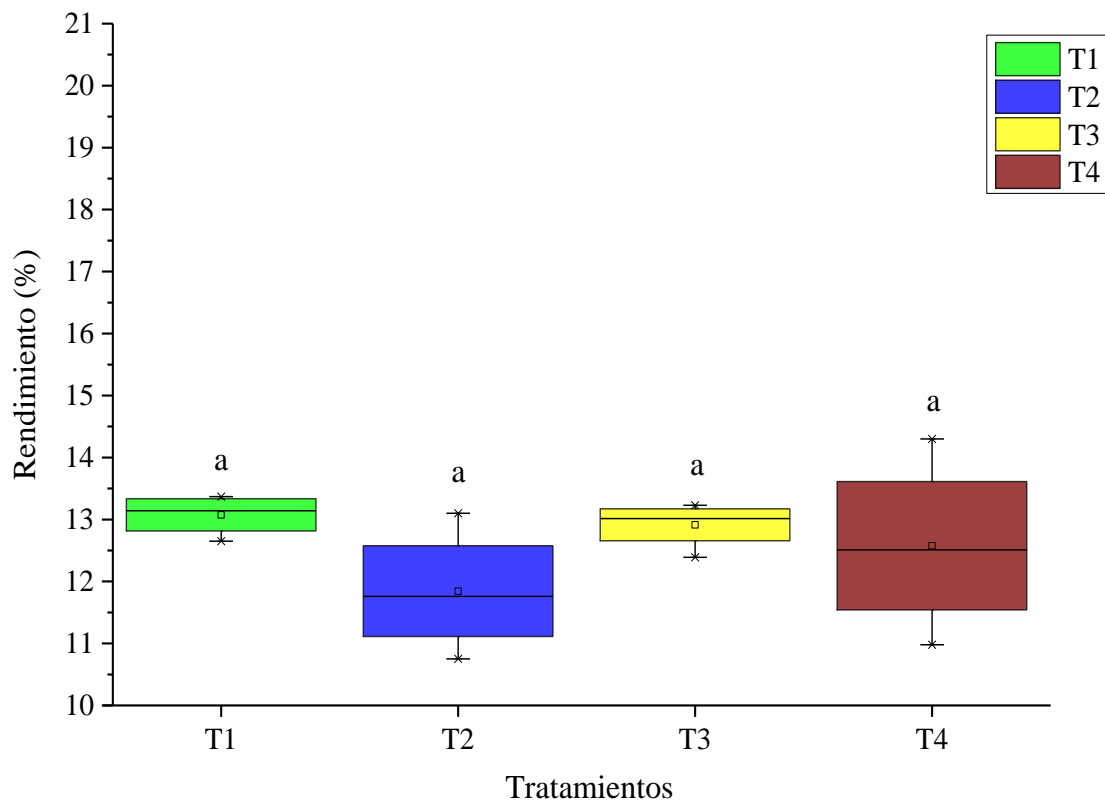


Gráfico 1-3. Rendimiento de extracción de almidón de papa (*Solanum tuberosum*).

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.4. Rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

El análisis de rendimiento de extracción de almidón de yuca, por el método húmedo, establecidas en los 4 tratamientos, se realizaron a una temperatura de secado de 50 °C y un tiempo constante de 24 h. El valor medio del rendimiento fue de 18,05%, con un valor máximo de 19,25% (T1) y un mínimo de 16,82% (T3) (Tabla 6-3). Al igual que en el producto anterior la diferencia entre los porcentajes obedece a las pérdidas ocasionadas por los restos de materiales en los recipientes donde se elaboró las distintas formulaciones, así como a la pérdida de agua ocasionada por el proceso de secado.

El T2 en relación al T1 presentó una disminución de 0,93% debido a que se incrementó las revoluciones a 15000 RPM y se mantiene el tiempo de licuado de 60 segundos, factor importante para completar el proceso de trituración. El T3 en relación al T1 presentó una

disminución de 2,43% ya que se disminuyó el tiempo de licuado a 30 segundos y el producto al presentar mayor dureza muestra un aspecto pegajoso que dificulta el proceso de filtrado afectando su rendimiento. El T4 en relación al T1 presentó una disminución del 1,44% debido a que se incrementó las revoluciones a 15000 RPM y se disminuyó el tiempo de licuado a 30 segundos dando como resultado trozos grandes de materia prima.

Tabla 6-3: Rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

No.	Tratamiento	Variables RPM/t(seg)	Repetición	Volumen agua (ml)	Yuca	Peso (g)			Rendimiento (%)		Tiempo secado (H)
						Almidón			R	Promedio	
						R	Promedio	Total			
1	T1	5000/60	R1	500	200	37,32	38,50	154,01	18,66	19,25	24
2			R2			39,31			19,66		
3			R3			38,13			19,07		
4			R4			39,24			19,62		
5	T2	15000/60	R1	500	200	38,93	36,65	146,58	19,46	18,32	24
6			R2			36,28			18,14		
7			R3			35,92			17,96		
8			R4			35,46			17,73		
9	T3	5000/30	R1	500	200	34,91	33,64	134,57	17,45	16,82	24
10			R2			31,70			15,85		
11			R3			34,12			17,06		
12			R4			33,85			16,93		
13	T4	15000/30	R1	500	200	36,26	35,61	142,45	18,13	17,81	24
14			R2			34,16			17,08		
15			R3			35,50			17,75		
16			R4			36,54			18,27		

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.4.1. Comparación del rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

En la tabla 7-3 se muestra las concentraciones medias del rendimiento de extracción de almidón de yuca, los cuales variaron de 16,82 a 19,25 %; con una desviación estándar de 0,48 a 0,78; una varianza de 0,23 a 0,60 y un coeficiente de variación de 2,48 a 4,24 %.

Tabla 7-3: Análisis estadístico descriptivo del rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

Tratamiento	Variable	Media	Error estándar \bar{X}	SD	Varianza	Coef Var	Mínimo	Máximo
T1	5000/60	19,25	0,24	0,48	0,23	2,48	18,66	19,66
T2	15000/60	18,32	0,39	0,78	0,60	4,24	17,73	19,46
T3	5000/30	16,82	0,34	0,69	0,47	4,07	15,85	17,45
T4	15000/30	17,81	0,27	0,53	0,28	2,99	17,08	18,27

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

En cuanto al análisis de varianza para rendimiento de extracción de almidón de yuca se realizó un análisis Anova con un 95% de confiabilidad, en el cual, se alcanzó un valor p de 0,001 que es menor al 0,05; lo que indica que existe diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 8-3), por lo que fue necesario trabajar con el test de Tukey, para identificar entre que grupos existe diferencia significativa al 95 % de confiabilidad y determinando que entre el T1 – T2 no existe diferencias significativas, al contrario entre los otros tratamientos si existe diferencias significativas.

Tabla 8-3: Análisis de varianza para rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Tratamiento	3	12,343	4,1144	10,39	0,001	**
Error	12	4,753	0,3961			
Total	15	17,096				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El Gráfico 2-3, muestra la distribución de rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*), por tratamiento, estos valores están influenciados por las RPM y el tiempo. En la Figura se observa letras distintas lo que indica una ligera variación en el rendimiento del almidón.

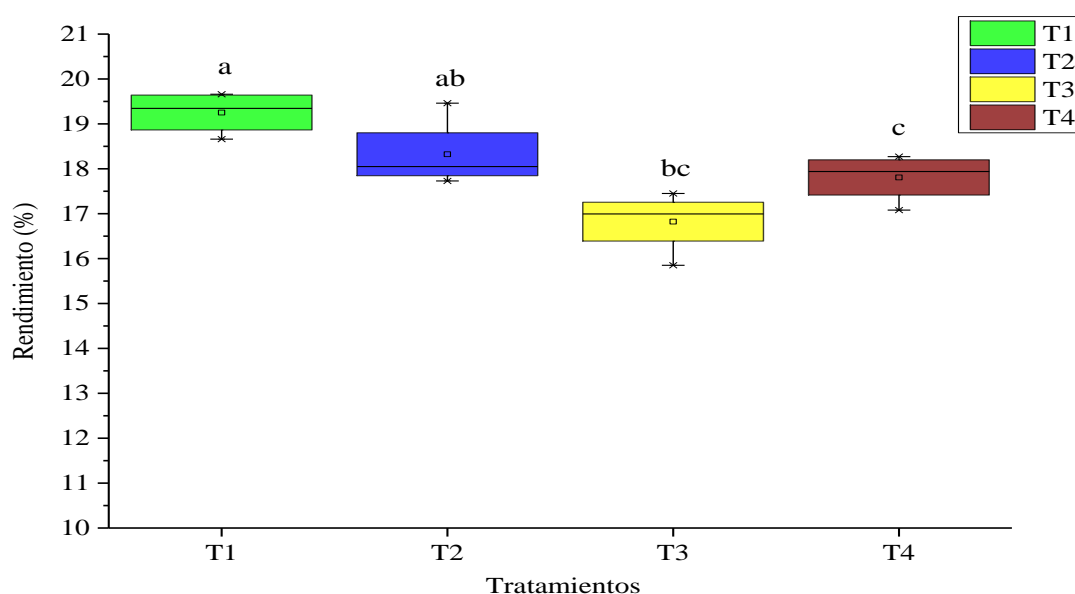


Gráfico 2-3. Rendimiento de extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*).

Letras distintas indican diferencias significativas mediante test de Tukey ($p < 0,05$).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.5. Análisis físico químico del almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

En la tabla 9-3, se presenta el resumen del análisis físico químico del almidón de papa, donde el porcentaje de humedad obtenido fue de 10,08%, lo cual está dentro del estándar establecido por la FAO. Por otro lado, Rivera, (2019, p.26), en su investigación de “Elaboración de láminas biodegradables a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y la resina de sábila (aloe vera)”, obtuvo láminas de almidón con 11,8% de humedad, un porcentaje superior al obtenido en el presente trabajo de investigación. El porcentaje de ceniza en el almidón de papa fue de 0,32% valores superiores a los reportados por Lucas et al., (2013, p.86), en su estudio sobre la caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de papa. El porcentaje de solubilidad fue de 4,88%, el cual se encuentra dentro del rango de acuerdo a la norma INEN 1456; y al realizar la comparación con estudios similares dicho valor esta pon encima de los reportados por Alvis et al., (2008, pp.22-23), para almidón de papa (3,70%).

El valor de pH fue de 6,75 lo cual cumple con la normativa INEN 1456, donde se indica que el almidón debe presentar un valor de 6 a 7. La viscosidad presentó un valor de 7550,00 cp el cual está dentro de los valores reportados por Vargas et al., (2016, p.227), en su estudio sobre las propiedades funcionales del almidón de papa; sin embargo se encuentra por encima del límite superior a lo establecido por la norma ISI 17-1 del International Starch Institute, lo que indica que mientras más puro sea el almidón la viscosidad incrementa. La temperatura de gelatinización que alcanzó el almidón fue a los 61,30°C, lo cual se encuentra en el rango establecido en la norma INEN 1456, estos resultados están dentro del rango de otro tipo de almidones reportados por Mogrovejo, (2019, pp.32-35). La amilosa y amilopectina presentaron valores de 30,91% y 68,44% respectivamente. Estos porcentajes concuerdan con estudios realizados por Ramírez et al., (2011, p. 17), sobre la caracterización de almidón nativo extraído de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*), para su aplicación en un derivado cárnico, donde obtuvo valores de 20% para amilosa y 80% para amilopectina.

Tabla 9-3: Análisis físico químico del almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Parámetros	Unidades	Valor	Estándar	Norma/Institución
Humedad	%	10,08	10,00 – 13,00	FAO
Ceniza	%	0,32	≤ 0,12	AOAC (Asociation of Official Analytical Chemists) 942.05
Solubilidad	%	4,88	0,27 – 12,52	INEN 1456
pH		6,75	6,00 – 7,00	INEN 1456
Viscosidad	cp	7550,00	840,00 – 1500,00 cP	ISI 17-1 del International Starch Institute
Temperatura de gelatinización	°C	61,30	57,50 – 70,00	INEN 1456
Amilosa	%	30,91		CINIAP
Amilopectina	%	68,44		CINIAP

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.6. Análisis físico químico del almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

En la tabla 10-3, se presenta el resumen del análisis físico químico del almidón de yuca, donde el porcentaje de humedad obtenido fue de 10,07% valor que se encuentra dentro del rango establecido por la FAO. El porcentaje de ceniza registrado en el presente estudio fue 0,17% un valor similar al reportado por Alvis et al., (2008, p.55), en su estudio sobre el análisis físico químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa.

El valor de solubilidad obtenido para el almidón de yuca fue de 2,30%, el cual está dentro del estándar establecido por la norma INEN 1456; sin embargo, este parámetro puede incrementarse a consecuencia del hinchamiento del granulo y del aumento de la temperatura. El valor de pH fue de 6,90, el cual cumple con la normativa INEN 1456, en donde indica que un almidón debe estar en el rango de 6 a 7. La amilosa y amilopectina presentaron valores de 25,97% y 73,07% respectivamente.

La viscosidad desarrollada por el almidón de yuca fue de 11880,00 cp, valor que está por encima del estándar establecido en la norma ISI 17-1 del International Starch Institute, es importante indicar también que mientras más puro sea el almidón de yuca mayor será su viscosidad (Vargas et al., 2016, p.226).

El almidón de yuca exhibió una temperatura de gelatinización a los 64°C el cual está dentro del rango establecido en la norma INEN 1456, además esta temperatura fue similar a los reportados por Hernández et al., (2008, p.722), en su estudio sobre la caracterización físico química de almidones de tubérculos cultivados. La amilosa (en proporción del 25 %) y la amilopectina (75 %), es el glúcido de reserva de la mayoría de los vegetales (Rivera, 2019, p.12).

Tabla 10-3: Análisis físico químico del almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

Parámetros	Unidades	Valor	Estándar	Norma/Institución
Humedad	%	10,07	10,00 – 13,00	FAO
Ceniza	%	0,17	≤ 0,12	AOAC (Asociation of Official Analytical Chemists) 942.05
Solubilidad	%	2,30	0,27 – 12,52	INEN 1456
pH		6,90	6,00 – 7,00	INEN 1456
Viscosidad	cp	11880,00	840,00 – 1500,00 cP	ISI 17-1 del International Starch Institute
Temperatura de gelatinización	°C	64,00	57,5 - 70	INEN 1456
Amilosa	%	25,97		CINIAP
Amilopectina	%	73,07		CINIAP

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.7. Análisis microbiológico del almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

El análisis microbiológico del almidón de papa muestra un valor de <10 UFC/g para *Aerobios mesófilos* y *Mohos y levaduras* y son las que mostraron mayor actividad microbiana, este comportamiento fue atribuido a la cinética de saturación por el sustrato, que fue propia de las actividades enzimáticas relacionadas con las actividades microbianas de diversos extractos orgánicos. Para *Coliformes totales* y *Coliformes fecales* los valores obtenidos en el halo de inhibición ensayadas mostraron ausencia en los resultados (Tabla 11-3). El recuento de estas bacterias refleja la calidad sanitaria del bioplástico, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de una superficie. Este método es uno de los indicadores microbiológicos de calidad más utilizado en la industria. Es importante indicar que los *Aerobios mesófilos* no diferencian los tipos de bacterias que pueden estar presentes en la superficie del bioplástico.

Tabla 11-3: Análisis microbiológico del almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Parámetros	Método	Resultado
<i>Aerobios mesófilos</i> UFC/g	Siembra en masa	<10
<i>Coliformes totales</i> UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Coliformes fecales</i> UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Mohos y levaduras</i> UFC/g	Siembra en masa	<10

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.1.8. Análisis microbiológico del almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

Al evaluar el análisis microbiológico del almidón de yuca se observó una disminución del halo de inhibición del crecimiento bacteriano (ausencia), tanto para *Coliformes totales* y *Coliformes fecales*. Esta variación en los resultados se podría explicar al hecho de que cuando varias sustancias actúan compitiendo unas con otras sobre algún sitio activo específico de la membrana o pared celular y/o sobre un sistema enzimático, se produce una cinética de saturación y no se observa un incremento en las actividades.

Para *Aerobios mesófilos* y *Mohos y levaduras* se evidenció que los valores obtenidos fueron <10 UGC/g. Al comparar los resultados obtenidos con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2051: (2013, p.7), se observa que las muestras no superan el límite máximo permitido en mohos y levaduras que es de 10^5 UFC/g (Tabla 12-3).

Tabla 12-3: Análisis microbiológico del almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

Parámetros	Método	Resultado
<i>Aerobios mesófilos</i> UFC/ g	Siembra en masa	<10
<i>Coliformes totales</i> UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Coliformes fecales</i> UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Mohos y levaduras</i> UFC/g	Siembra en masa	<10

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.2. Determinación de la formulación óptima para la elaboración del bioplástico a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

El bioplástico fue elaborado partir de la mezcla del almidón de papa y yuca a una concentración de 40% - 60% respectivamente orientado a la obtención de un polímero biodegradable para su uso como envoltura de alimentos. En la tabla 13-3 se muestran los resultados de las formulaciones del bioplástico a partir del almidón de papa y yuca, el cual fue un proceso que se realizó para obtener un espesor estándar para todas las muestras, de aproximadamente 0,11 mm. La formulación con las mejores características fue el Tratamiento 1 debido a que presentó un aspecto translucido, buena estabilidad y una textura lisa. La solución acuosa se mantiene entre los moldes por 24 horas para la obtención de una película uniforme. En esta etapa, el bioplástico sufre una pérdida de humedad de aproximadamente 60%. Finalmente, la película es separa del molde y se procede a dimensionarla con una altura de 2,50 cm, ancho de 2,50 cm y espesor de 0,10 mm. Se obtuvo 4 películas por cada tratamiento donde el espesor varío de 0,10 a 0,12 mm.

Tabla 13-3: Formulación para la elaboración del bioplástico de la combinación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Tratamiento	Composición del Bioplástico				Peso Bioplástico				Espesor (mm)
	Almidón (g)	Glicerina (g)	Agua (ml)	Ac. Acético (ml)	Caja vacía (g)	Muestra caliente (g)	Muestra ambiente (g)	Caja + muestra seca (g)	
T1a	5,00	2,00	60,00	4,00	297,12	38,00	332,64	301,60	0,10
T1b	5,00	2,00	60,00	4,00					
T1c	5,00	2,00	60,00	4,00					
T1d	5,00	2,00	60,00	4,00					
T2a	5,00	2,20	60,00	4,00	299,12	38,00	334,38	303,54	0,11
T2b	5,00	2,20	60,00	4,00					
T2c	5,00	2,20	60,00	4,00					
T2d	5,00	2,20	60,00	4,00					
T3a	5,20	2,00	60,00	4,00	402,39	38,00	438,70	406,68	0,11
T3b	5,20	2,00	60,00	4,00					
T3c	5,20	2,00	60,00	4,00					
T3d	5,20	2,00	60,00	4,00					
T4a	5,20	2,20	60,00	4,00	295,34	38,00	329,77	299,54	0,12
T4b	5,20	2,20	60,00	4,00					
T4c	5,20	2,20	60,00	4,00					
T4d	5,20	2,20	60,00	4,00					

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.2.1. Análisis físico químico del bioplástico de la combinación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

En la tabla 14-3, se presenta el resumen del análisis físico químico del bioplástico, donde el porcentaje de humedad obtenido fue de 11,17%, el cual está dentro del estándar establecido por la FAO. La solubilidad mostró un valor de 29,29% el mismo que es uno de los más importantes para la elaboración del bioplástico. La permeabilidad de vapor de agua producto de la mezcla del almidón de papa y yuca fue 1,36 g*mm/h*m², el cual resulta uno de los mejores valores para la elaboración del bioplástico.

Tabla 14-3: Análisis físico químico del bioplástico

Parámetros	Unidades	Valor	Estándar	Norma/Institución
Humedad	%	11,17	10,00 - 13,00	FAO
Solubilidad	%	29,29	0,27 - 12,52	INEN 1456
Permeabilidad de vapor de agua	g*mm/h*m ²	1,36		

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.2.2. Análisis de solubilidad del bioplástico

En la tabla 15-3 se muestra las concentraciones medias de solubilidad del bioplástico, los cuales variaron de 22,29 a 35,76 %; con una desviación estándar de 0,56 a 4,32; una varianza de 0,32 a 18,63 y un coeficiente de variación de 1,93 a 13,78 %. En base a lo anterior podemos indicar que el tratamiento que mejor solubilidad muestra es el T1 con un valor de 29,29% y es ideal para la fabricación de bioplástico y su posterior uso como envoltura de alimentos.

Tabla 15-3: Análisis estadístico descriptivo de solubilidad del bioplástico

Tratamiento	Media	Error estándar \bar{X}	SD	Varianza	Coef Var	Mínimo	Máximo
T1	29,29	0,33	0,56	0,32	1,93	28,68	29,79
T2	35,76	2,30	3,99	15,89	11,14	32,28	40,11
T3	31,82	0,41	0,75	0,51	2,25	31,11	32,54
T4	31,32	2,49	4,32	18,63	13,78	26,35	34,09

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

En cuanto al análisis de varianza de solubilidad del bioplástico se realizó un análisis Anova con un 95% de confiabilidad, en el cual, se alcanzó un valor de 0,135 que es mayor al 0,05; lo que indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 16-3).

Tabla 16-3: Análisis de varianza de la solubilidad del bioplástico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Tratamiento	3	65,90	21,967	2,49	0,135	Ns
Error	8	70,69	8,836			
Total	11	136,59				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El Gráfico 3-3, muestra la solubilidad del bioplástico por tratamiento, donde letras iguales indican que no existe diferencias significativas mediante test de Tukey ($p > 0,05$).

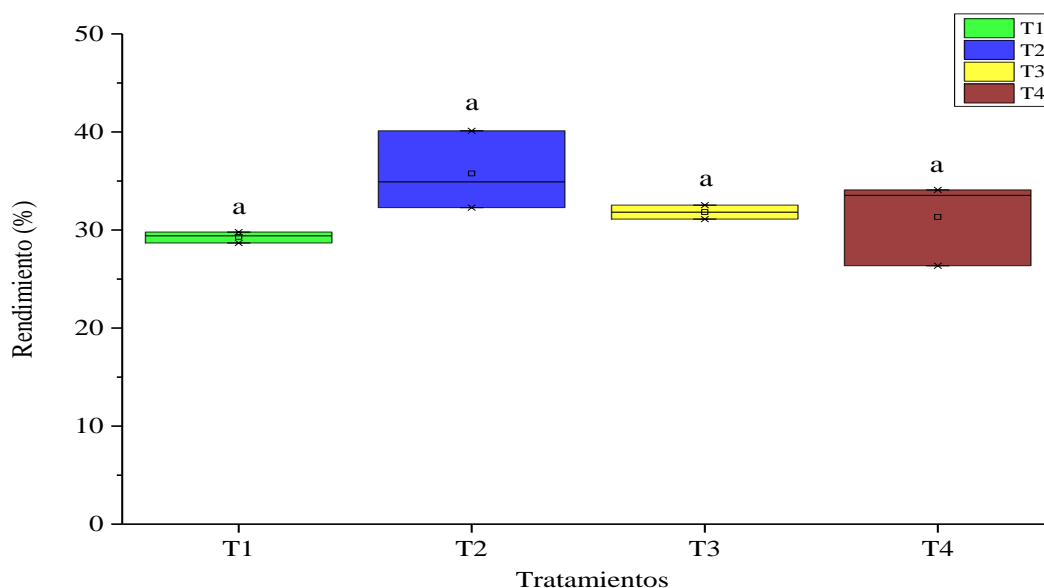


Gráfico 3-3. Solubilidad del bioplástico.

Letras iguales indican que no existe diferencias significativas mediante test de Tukey ($p > 0,05$).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.2.3. Análisis de permeabilidad del bioplástico

En la tabla 17-3 se muestra las concentraciones medias de permeabilidad del bioplástico, los cuales variaron de 1,36 a 1,97 %; con una desviación estándar de 0,03 a 0,78; una varianza de 0,0005 a 0,606 y un coeficiente de variación de 1,63 a 39,45 %. Con los datos obtenidos se puede indicar que el tratamiento T1 con un valor de 1,36 es el que mejor permeabilidad presenta, por tal razón mientras menos permeable sea mejor calidad exhibe el bioplástico frente al uso como envoltura de alimentos.

Tabla 17-3: Análisis estadístico descriptivo de permeabilidad del bioplástico

Tratamiento	Media	Error estándar \bar{X}	SD	Varianza	Coef Var	Mínimo	Máximo
T1	1,36	0,02	0,03	0,0008	2,13	1,34	1,39
T2	1,97	0,45	0,78	0,606	39,45	1,47	2,87
T3	1,46	0,33	0,57	0,327	39,17	1,11	2,12
T4	1,42	0,01	0,02	0,0005	1,63	1,39	1,43

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El análisis de varianza de permeabilidad del bioplástico se realizó a través de un análisis Anova con un 95% de confiabilidad, en el cual alcanzó un valor de 0,427 que es mayor al 0,05; lo que indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 18-3).

Tabla 18-3: Análisis de varianza de la permeabilidad del bioplástico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Tratamiento	3	0,7274	0,2425	1,04	0,427	Ns
Error	8	1,8690	0,2336			
Total	11	2,5964				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

El Gráfico 4-3, muestra la permeabilidad del bioplástico por tratamiento, donde letras iguales indican que no existe diferencias significativas mediante test de Tukey ($p > 0,05$).

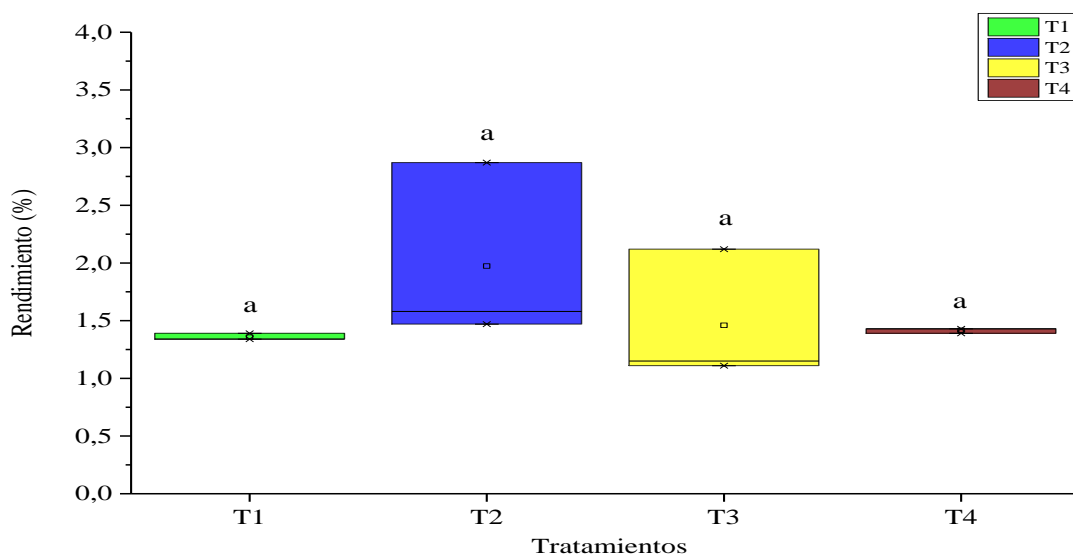


Gráfico 4-3. Permeabilidad del bioplástico.

Letras iguales indican que no existe diferencias significativas mediante test de Tukey ($p > 0,05$).

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3. Evaluación del bioplástico obtenido a través de análisis físico-mecánico y de biodegradabilidad para su uso como envoltura de alimentos

3.3.1. Análisis físico-mecánico del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas físico-mecánicas del bioplástico se centró en analizar el espesor, anchura, sección transversal, elasticidad, carga de fluencia, carga máxima, esfuerzo máximo y elongación; las 4 formulaciones de bioplástico derivado de la combinación del almidón de papa y yuca.

3.3.1.1. Espesor

En el presente estudio el espesor promedio de las láminas de bioplástico de la combinación del almidón de papa y yuca vario de 0,07 a 0,09 mm (Tabla 19-3). Sin embargo, en la norma técnica INEN 2542, permite un espesor máximo de 0,2 mm.

Por consiguiente, este parámetro fue uno de los más importantes a considerar dentro de la generación de bioplástico de la combinación del almidón de papa y yuca. De acuerdo a estudios realizados por Escobar et al., (2009, p.34), indican que las láminas de bioplástico deben tener un espesor que varía de $0,120 \pm 0,010$ mm.

Tabla 19-3: Espesor del bioplástico de papa (*Solanum tuberosum*) y de yuca (*Manihot esculenta*)

Bioplástico	Repeticiones	Espesor promedio (mm)	Límite de referencia
Combinación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	M1	0,09	$0,120 \pm 0,010$ mm
	M2	0,09	(Escobar et al. 2009)
	M3	0,07	0,2 mm
	M4	0,09	(INEN 2542)

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.1.2. Anchura y longitud

El ancho de las láminas del bioplástico de la combinación del almidón de papa y yuca variaron de 7,41 mm a 7,79 mm, con una longitud de 25 mm (Tabla 20-3). Este tipo de láminas sirvió de base para realizar las respectivas pruebas mecánicas.

Tabla 20-3: Anchura y longitud del bioplástico de papa (*Solanum tuberosum*) y de yuca (*Manihot esculenta*)

Bioplástico	Repeticiones	Anchura (mm)	Longitud (mm)
Combinación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	M1	7,79	25,00
	M2	7,51	25,00
	M3	7,41	25,00
	M4	7,77	25,00

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.1.3. Sección transversal

La sección transversal del bioplástico de la combinación del almidón de papa y yuca variaron de 0,52 mm² a 0,70 mm² (Tabla 21-3). Este tipo de sección transversal es ideal para la fabricación de bioplástico, por lo que se convierte en un material ideal para sustituir al plástico sintético.

Tabla 21-3: Sección transversal del bioplástico de la combinación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Bioplástico	Repeticiones	Sección transversal (mm²)
Combinación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	M1	0,70
	M2	0,68
	M3	0,52
	M4	0,70

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.1.4. Módulo de elasticidad

Es aquella en la que un elemento recobra su forma natural al finalizar el esfuerzo al cual fue suavizado. La elasticidad del bioplástico de la combinación del almidón de papa y yuca generado a partir de los 4 tipos de formulaciones vario de 5,212. E+00 MPa a 8,039. E+00 MPa (Tabla 22-3). La elasticidad va a depender de la cantidad de glicerina y ácido acético puesto que éstos contribuyen de cierto modo con la elasticidad y firmeza del material resultante.

En un estudio realizado por Buitrago et al., (2004, p.106), sobre la determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia, indica que la principal influencia sobre la variabilidad en las propiedades mecánicas es el cambio en el contenido de humedad; también se detectó una pérdida de turgencia con el paso del tiempo que genera mayor elasticidad en el tubérculo, lo cual le permite soportar mayores cargas.

De igual forma la variedad criolla presenta una resistencia entre tres y cinco veces mayor al corte, punzonamiento y compresión, con relación a las variedades capiro y pastusa. Así mismo, en estudios realizados por Mathew & Dufresne, (2002, p.14) sobre el almidón de maíz con contenidos similares de glicerol, registra una resistencia a tensión, elasticidad y deformación de 0,23 MPa, 38 MPa y 14%, respectivamente; mientras que Ruiz, (2006, p.11), en su estudio sobre almidón de yuca (empleando 65% de almidón y 35% de glicerol) la resistencia máxima presentó un valor de 0,38 MPa y la deformación un valor de 68,88% para el punto de ruptura.

Tabla 22-3: Elasticidad del bioplástico de la combinación de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Bioplástico	Repeticiones	Elasticidad (MPa)
Almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	M1	5,840. E+00
	M2	8,039. E+00
	M3	7,530. E+00
	M4	5,212. E+00

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.1.5. Carga de fluencia, esfuerzo de fluencia, carga máxima, esfuerzo máximo y elongación

En la Tabla (23-3) se observa los resultados obtenidos del ensayo de carga de fluencia con valor de 1,04 a 1,55 (N), el esfuerzo de fluencia vario de 1,60 a 2,30 (MPa), carga máxima presentó un valor mínimo de 1,15 (MPa) y un máximo de 1,69 (MPa), esfuerzo máximo alcanzado fue de 2,50 (MPa) con una elongación máxima de 3,04% y un mínimo de 0,20%, donde los resultados obtenidos son menores a los reportados por Torres et al., (2011, p.57), quien obtuvo un esfuerzo máximo de 3,22 MPa y una elongación máxima de 24,18%.

Las diferencias en las características mecánicas se deben a la calidad y tipo de almidón que se extrae como materia prima para la elaboración del bioplástico. Es importante indicar la norma ISO 527-1/-2 al igual que la ASTM D 638 definen métodos para el ensayo de tracción. Estas normas son técnicamente parecidas, pero no ofrecen límites máximos y mínimos permisibles debido a que las geometrías de las probetas, velocidades de ensayo y la manera de hallar los resultados difieren entre sí.

Tabla 23-3: Análisis físico mecánico del bioplástico de la combinación de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

Bioplástico	Repeticiones	Carga de fluencia (N)	Esfuerzo fluencia (MPa)	Carga máxima (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (%)
Combinación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	M1	1,30	1,85	1,45	2,07	3,04
	M2	1,55	2,30	1,69	2,50	3,00
	M3	1,04	2,01	1,15	2,21	0,20
	M4	1,12	1,60	1,27	1,81	2,60

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.2. Análisis microbiológico del bioplástico

El análisis microbiológico del bioplástico de papa y yuca se muestra en la tabla 24-3. Este tipo de análisis es una herramienta muy importante para comprobar la presencia o no de UFC/g en el producto final. La presencia y multiplicación de microorganismos indicadores de contaminación en el bioplástico es un signo de una mala aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura, por lo que puede inferir en el buen funcionamiento del producto final. La *Escherichia coli*, *Coliformes totales* y *Coliformes fecales* muestran ausencia lo que indica que no existe contaminación por este tipo de microorganismos, por lo contrario de existir presencia de este microorganismo en el bioplástico es usado como criterio de sanitización y puede aplicarse para la detección de prácticas sanitarias deficientes en el manejo y en la fabricación de dicho polímero. Los *Aerobios mesófilos* y *Mohos y levaduras* se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente, pueden encontrarse como flora normal de un producto sanitizado inadecuadamente. En el presente estudio el valor fue de < 10 UFC/g, este tipo de microorganismos pueden causar malos olores, sabores y la decoloración del bioplástico.

Tabla 24-3: Análisis microbiológico del bioplástico de papa y yuca

Determinaciones	Unidades	Método	Resultado
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Aerobios mesófilos</i>	UFC/g	Siembra en masa	< 10
<i>Coliformes totales</i>	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Coliformes fecales</i>	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
<i>Mohos y levaduras</i>	UFC/g	Siembra en masa	< 10

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.3. Análisis de IR del bioplástico

La espectroscopia Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) es una técnica cualitativa utilizada para identificar los elementos que forman parte de un compuesto orgánico. Sin embargo, también puede emplearse como una técnica cuantitativa para determinar el grado de ramificación de un polímero o interacciones específicas que se presentan entre los diferentes componentes de una mezcla de polímeros.

En la presente investigación los IR se realizaron con el equipo que pertenece al Laboratorio de análisis instrumental de la Facultad de Ciencias de la Epoch. Es un espectrofotómetro modelo “Jasco FTIR-4100”, formado por un accesorio de control térmico y un dispositivo de cristal de diamante (Golden Gate Heated Single Reflection Diamond ATR, Specac-TeknoKroma) para registrar los espectros por reflexión en el caso de muestras translúcidas y opacas, con una resolución máxima: $0,9 \text{ cm}^{-1}$ y un rango de número de onda: $4000 \text{ a } 600 \text{ cm}^{-1}$.

El Gráfico 5-3 se muestra el espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca que corresponde al tratamiento 1. Se observa que el polímero inicial tiene una banda en 3318 cm^{-1} la cual está relacionada directamente con los estiramientos del enlace OH de grupos hidroxilo y una banda en 1647 cm^{-1} que indica la presencia del contenido de humedad en la muestra; en cambio, las extensiones C-H de carbonos saturados se presentan en 2925 cm^{-1} , mientras que sus flexiones simétricas en 1338 cm^{-1} . Es importante indicar que los estiramientos de alcoholes secundarios y primarios C-OH y de éteres C-O-C asoman en la región de 1151 cm^{-1} a 1078 cm^{-1} . Estos resultados concuerdan con el estudio desarrollado por Ruiz et al., (2009, pp.21-24), donde se reportan resultados similares de un polímero fabricado a partir del almidón de yuca.

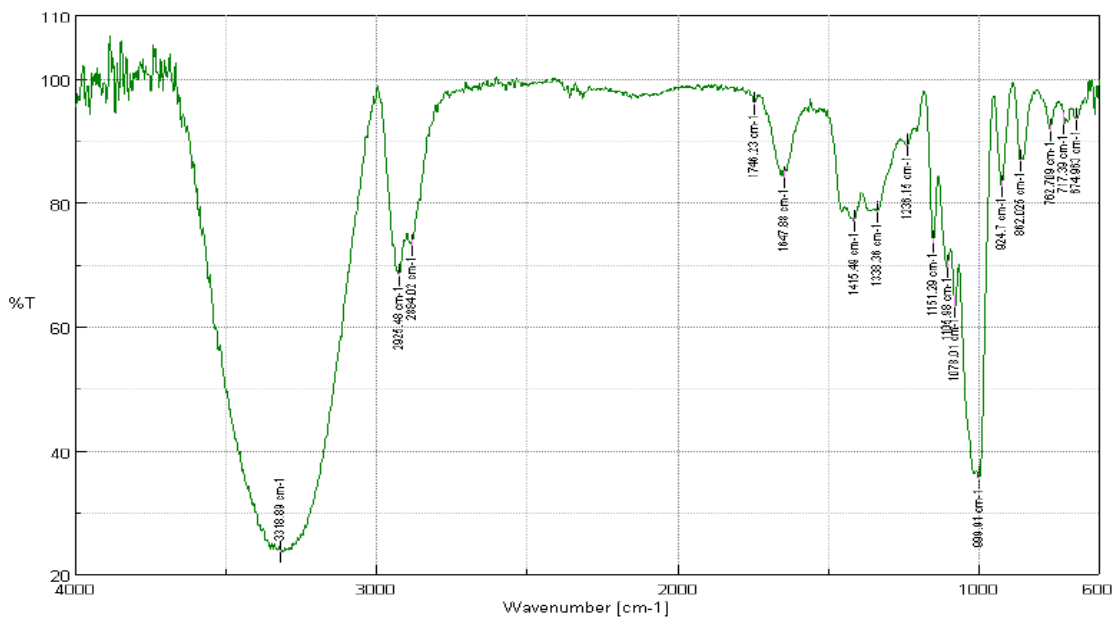


Gráfico 5-3. Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 1

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

El espectro IR del bioplástico del almidón de papa y yuca que corresponde al tratamiento 2, muestra una banda entre 3322 cm^{-1} , relacionada con los estiramientos de los grupos OH. La longitud de banda está relacionada con la presencia de puentes de hidrogeno intermoleculares. La transmitancia entre 2934 cm^{-1} , corresponden a las vibraciones de dilatación C–H. La banda de 1647 está relacionada con el contenido de humedad de la muestra. La región entre 1450 y 1300 cm^{-1} está relacionada con las vibraciones de flexión C–H. Entre 1050 y 1150 cm^{-1} se observa dos picos, típicos de los polisacáridos relacionados con la deformación de tensión del C–O–C y a flexión del OH, debido a que el almidón posee interacciones C–O con diferente ambiente químico (C–O–C, CH₂OH y COH). Los estiramientos de alcoholes primarios y secundarios C-OH y de éteres C-O-C asoman en la región de 1000 cm^{-1} a 1100 cm^{-1} . Entre 1000 cm^{-1} y 900 cm^{-1} , se registra una banda que corresponde a la tensión fuera del plano relacionado a C-H (Gráfico 6-3). Estos resultados concuerdan con el estudio desarrollado por Vargas & Medina, (2019, pp.243-244), sobre el uso de plastificante en la fabricación de bioplásticos a partir de almidón de papa (*Solamun tuberosum*).

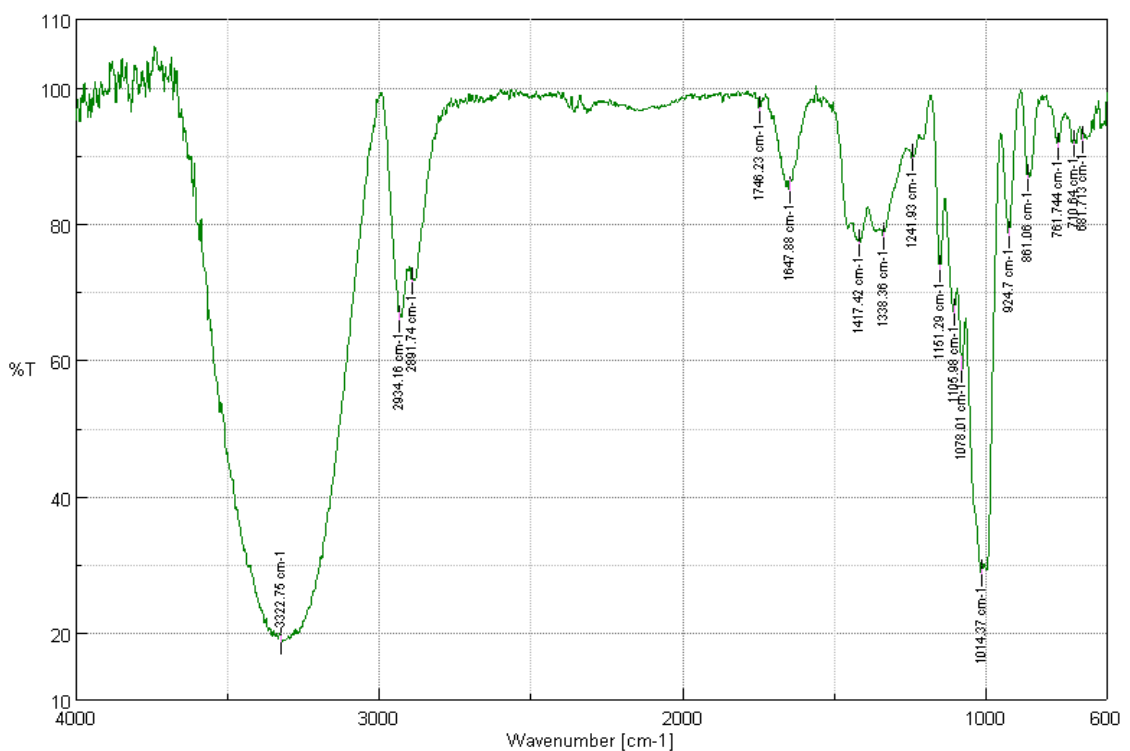


Gráfico 6-3. Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 2

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

El Gráfico 7-3 se muestra el espectro IR del bioplástico del almidón de papa y yuca que corresponde al tratamiento 3, la banda de transmitancia a los 3310 cm^{-1} , corresponden a los estiramientos de los grupos OH. La transmitancia entre 2800 y 2934 cm^{-1} , con bandas un poco débiles, están relacionadas con las vibraciones de extensión C–H. La banda de 1647 está relacionada con el contenido de humedad de la muestra.

Entre 1450 y 1300 cm^{-1} está relacionada con las vibraciones de flexión C–H. Entre 1050 y 1150 cm^{-1} se observa una banda dinámica con dos picos, típica de los polisacáridos y es atribuida a las deformaciones de tensión del C–O–C y a flexión del OH, porque la estructura del almidón presenta interacciones C–O con diferente ambiente químico (C–O–C, CH_2OH y COH). Los estiramientos de alcoholes primarios y secundarios C-OH y de éteres C-O-C asoman en la región de 1000 cm^{-1} a 1100 cm^{-1} . Entre 1000 cm^{-1} y 900 cm^{-1} , se registra una banda que corresponde a la tensión fuera del plano relacionado a C-H. Estos resultados concuerdan con el estudio desarrollado por Vargas & Medina, (2019, pp. 243-244), sobre el uso de plastificante en la fabricación de bioplásticos a partir de almidón de papa (*Solamun tuberosum*).

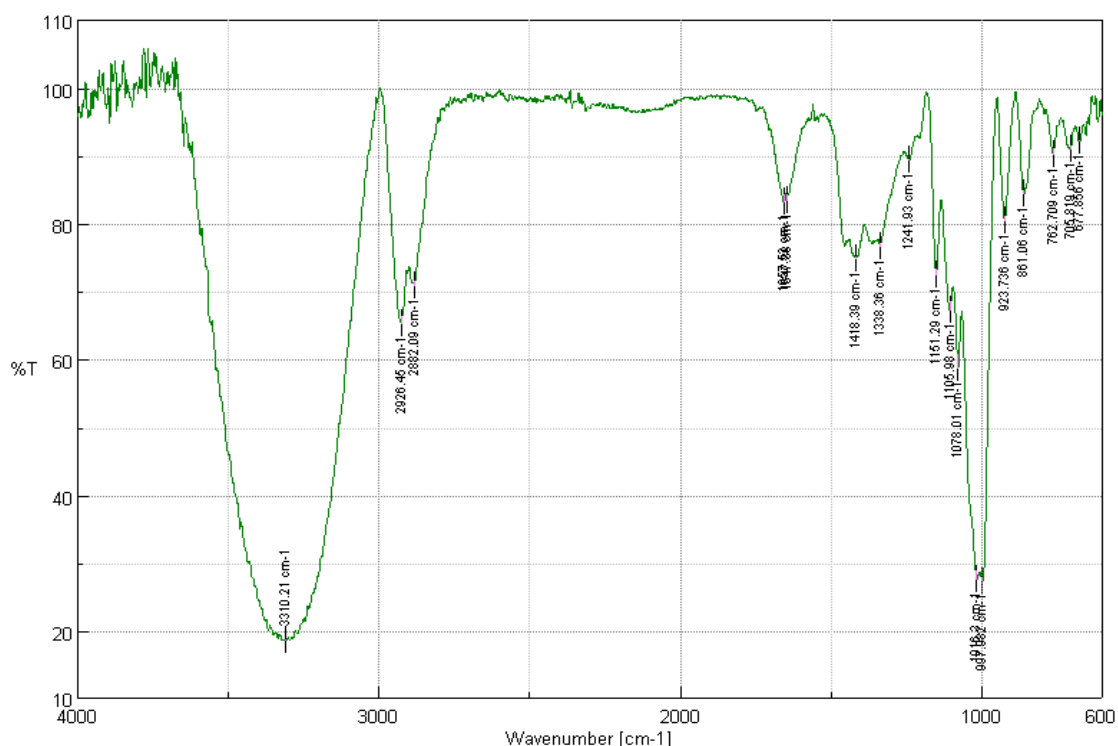


Gráfico 7-3. Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 3

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

El espectro IR del bioplástico del almidón de papa y yuca que corresponde al tratamiento 4, muestra una banda 3320 cm^{-1} , relacionada con los estiramientos de los grupos OH y con la presencia de puentes de hidrogeno intermoleculares. La transmitancia entre 2930 cm^{-1} , corresponden a las vibraciones de dilatación C–H. La banda de 1647 está relacionada con el contenido de humedad de la muestra.

La región entre 1450 y 1300 cm^{-1} está relacionada con las vibraciones de flexión C–H. Entre 1078 y 1151 cm^{-1} se observa dos picos, típicos de los polisacáridos relacionados con la deformación de tensión del C–O–C y a flexión del OH, debido a que el almidón posee interacciones C–O con diferente ambiente químico (C–O–C, CH_2OH y COH). Los estiramientos de alcoholes primarios y secundarios C-OH y de éteres C-O-C asoman en la

región de 1000 cm^{-1} a 1100 cm^{-1} . Entre 1078 cm^{-1} y 999 cm^{-1} , se registra una banda que corresponde a la tensión fuera del plano relacionado a C-H (Gráfico 8-3). Estos resultados concuerdan con el estudio desarrollado por Vargas & Medina, (2019, pp.243-244), sobre el uso de plastificante en la fabricación de bioplásticos a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*).

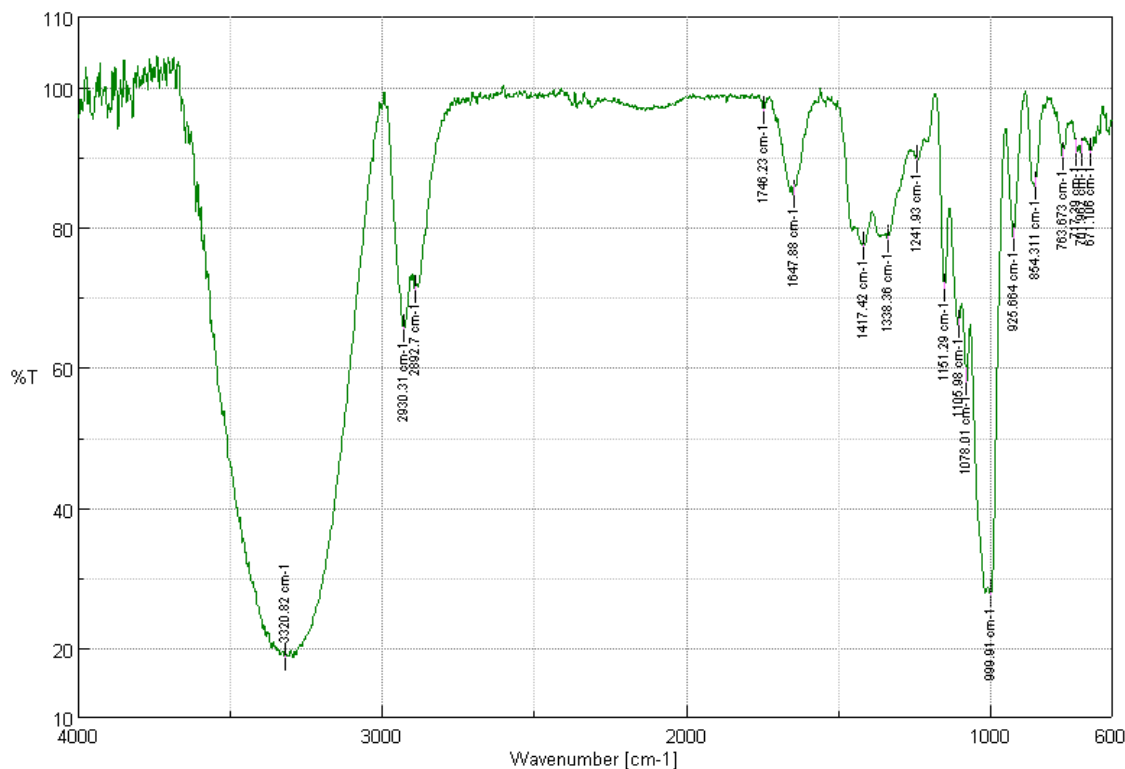


Gráfico 8-3. Espectro infrarrojo del bioplástico del almidón de papa y yuca tratamiento 4

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

El parecido en los espectros de los tratamientos 1 al 4 indican que la muestra posee básicamente la misma composición química, a pesar de las pequeñas diferencias en la región de baja frecuencia entre 700 cm^{-1} y 500 cm^{-1} .

3.3.4. Degradación del bioplástico a partir de la mezcla del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

El proceso de biodegradación del bioplástico a partir de la mezcla del almidón de papa y yuca se muestra en las siguientes tablas, por lo tanto, los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian claramente su rápido proceso de biodegradación, contribuyendo de esta manera con el medio ambiente. Es importante indicar que se ubicaron en recipientes que poseen iguales condiciones ambientales con la finalidad de simular condiciones aerobia, anaerobia y acuosa. El tiempo de exposición fue de 42 días, donde cada 6 días se realizó un registro fotográfico con la finalidad de observar la degradación y pérdida de masa de cada una de las muestras estudiadas.

Las muestras del bioplástico sometidas a condiciones aerobias, las cuales únicamente están en contacto con aire, promueven un acceso complicado a la amilosa para la degradación. Las condiciones climáticas que presenta este tipo de ambientes fueron: temperatura promedio entre 9 y 21 °C; precipitación anual de 491 mm; una presión atmosférica promedio de 545 mm de Hg y una humedad relativa del 72% (INAMHI, 2020, p.7).

La degradabilidad por intemperie se produjo por efecto de foto degradación debido a la combinación de luz solar y radiación ultravioleta que afectó a los aditivos presentes en las formulaciones (Villalta, 2018, p. 61). En esta condición se puede apreciar que la biodegradabilidad es mínima (1%) a los 42 días y con una reducción del área de 1,11 cm² (Tabla 25-3).

Tabla 25-3: Biodegradabilidad porcentual del bioplástico en medio aerobio

PRODUCTO	TRATAMIENTO	UNIDAD	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN							
			0	6	12	18	24	30	36	42
Bioplástico de la combinación de almidón de papa y yuca	1	cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,44	0,66	1,11
		%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,06	0,09
	2	cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,55	0,77	0,99
		%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,07	0,09
	3	cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,33	0,66	0,88
		%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,08
	4	cm ²	0,00	0,00	0,00	0,11	0,33	0,66	0,88	0,99
		%	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,08	0,09

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

En la Tabla 26-3 se muestran los valores porcentuales de biodegradabilidad del bioplástico en medio anaerobio donde el valor más alto fue de 87,10% a los 42 días, esto podría deberse principalmente a la degradación producida por los microorganismos presentes en el suelo el cual posee un pH que va de 6 a 7,5 y por la humedad, sin embargo, los bioplásticos a partir del día 6 se empezó a observar cambios como oscurecimiento y rompimiento que reflejan el inicio del proceso de degradación del producto biodegradable.

Tabla 26-3: Biodegradabilidad porcentual del bioplástico en medio anaerobio

Producto	Tratamiento	Unidad	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN							
			0	6	12	18	24	30	36	42
Bioplástico de la combinación de almidón de papa y yuca	1	%	0,00	20,00	46,00	50,00	62,20	75,00	84,90	87,10
	2	%	0,00	24,20	40,90	48,20	54,10	60,10	62,80	68,70
	3	%	0,00	25,00	41,50	47,70	50,20	52,80	59,80	70,10
	4	%	0,00	26,80	42,10	46,30	47,80	47,10	49,10	67,80

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

La degradación del bioplástico es afectada por enzimas encargadas del proceso de degradación de la amilasa, la cual hidroliza los enlaces para posteriormente liberar sacarosa.

Los resultados de degradación por medio acuoso presentaron un valor mínimo de 45,80 % y máximo de 95,50 % a los 42 días expuesto a un ambiente húmedo con un pH de 6,50 a 8,50 durante 24 horas al día, las muestras tienden a liberar amilosa, lo cual permitió que la acción enzimática ocurriera rápidamente. La diferencia entre los porcentajes de degradación entre tratamientos se basó en las diferentes formulaciones del bioplástico (Tabla 27-3).

Tabla 27-3: Biodegradabilidad porcentual del bioplástico en medio acuoso







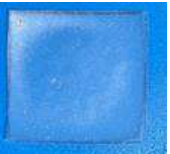


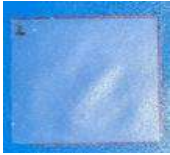





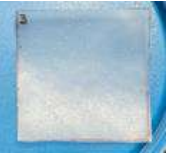

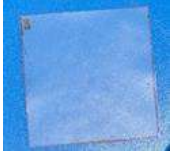
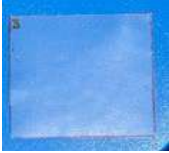










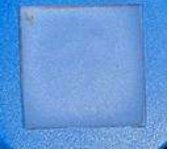


Producto	Tratamiento	Unidad	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN							
			0	6	12	18	24	30	36	42
Bioplástico de la combinación de almidón de papa y yuca	1	%	0,00	18,80	33,50	50,00	69,90	80,50	90,00	95,50
	2	%	0,00	10,90	19,10	30,00	40,20	45,20	58,20	70,80
	3	%	0,00	10,20	18,50	30,00	38,70	40,10	42,60	43,10
	4	%	0,00	10,80	19,80	30,00	40,50	42,30	43,20	45,80

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

Para los resultados de biodegradación González et al., (2009, p.418), menciona que, la biodegradación es la pérdida de la estructura molecular mediante reacciones químicas que provocan la ruptura principal de sus enlaces en los polímeros. Asimismo, se considera una sustancia biodegradable aquellas que pueden ser descompuestas en un periodo de tiempo por acción enzimática de los microorganismos, al descomponer sustancias químicas que les sirven de alimento en sus procesos, originando otros materiales como los aminoácidos.

































Tabla 28-3: Resultados de la biodegradación del almidón de papa y yuca durante 42 días en medio aerobio

		Biodegradación del almidón de papa y yuca							
Medio de biodegradación	Día								
	0	6	12	18	24	30	36	42	
Ambiente	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	
									
	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
									
	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	
									
	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	
									

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.


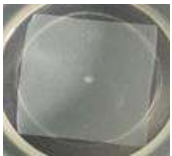






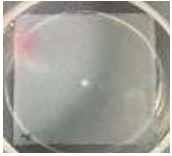






















Tabla 29-3: Resultados de la biodegradación del almidón de papa y yuca durante 42 días en medio anaerobio

		Biodegradación del almidón de papa y yuca							
Medio de biodegradación	Día								
	0	6	12	18	24	30	36	42	
Suelo	T1								
	T2								
	T3								
	T4								

Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

Tabla 30-3: Resultados de la biodegradación del almidón de papa y yuca durante 42 días en medio acuoso

		Biodegradación del almidón de papa y yuca							
		Día							
Medio de biodegradación		0	6	12	18	24	30	36	42
	Agua	T1							
T2									
T3									
T4									



















Fuente: Laboratorio de investigación ESPOCH.

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.3.5. Evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos

En la tabla 31-3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos en un ambiente natural a una temperatura promedio de 9 a 21°C. Para esto se tomó en cuenta la envoltura de frutas (fresas) con: a) bioplástico; b) plástico industrial y c) sin envoltura. Al comparar los resultados obtenidos se puede evidenciar que a partir del día 6 bajo control en un ambiente sin envoltura, empieza aparecer mohos y en la medida de que avanzan los días empieza la descomposición de las frutas y su apariencia ya no es la misma. En el caso de las frutas con envoltura de plástico industrial, empieza la descomposición a partir del día 9. Sin embargo, las frutas con envolturas de bioplástico se conservan de mejor manera, su descomposición aparece a partir del día 12.



















Tabla 31-3: Evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos en un ambiente natural

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Ambiente con envoltura de bioplástico						
Ambiente con envoltura de plástico industrial						
Control Ambiente sin envoltura						

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

En la tabla 32-3 se muestra, los resultados de las pruebas piloto del bioplástico como envoltura de alimentos en un ambiente de refrigeración a una temperatura de 5°C, donde fue muy satisfactorio, debido a que cumplen con las mismas funciones que las envolturas sintéticas (plástico industrial) es decir mantener, alargar y proteger la vida útil de las frutas de prueba (fresas), principalmente de microorganismos externos, garantizando así la calidad de los productos y el bienestar de los consumidores. Por consiguiente, todas las propiedades de los bioplásticos favorecen a que estos puedan ser utilizados como envolturas de alimentos y a través de ello hacer frente a la demanda de bioplástico con un buen diseño y sobre todo sostenible. De igual manera en un estudio realizado por Dussán et al., (2014, pp.126-128), sobre el efecto de un recubrimiento comestible y de diferentes empaques durante el almacenamiento refrigerado a base de almidón procesado, se indica que los atributos de calidad sensorial, físicos y químicos, logran prolongar su vida útil hasta 24 días en condiciones de refrigeración (5±1°C).

Tabla 32-3: Evaluación del bioplástico para su uso como envoltura de alimentos en un ambiente de refrigeración

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Refrigeración con envoltura de bioplástico						
Refrigeración con envoltura de plástico industrial						
Control Refrigeración sin envoltura						

Realizado por: Alarcón, C. 2022.

3.4. Pruebas de Hipótesis

Hipótesis general

- La papa y yuca son una fuente de extracción de almidón que es parte fundamental en la formulación de láminas de bioplástico que sirvieron como envoltura de alimentos.

La extracción de almidón a partir de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), para su caracterización en base al diseño factorial 2², determinó que los dos productos poseen altos contenidos de almidón. Por consiguiente, el empleo de dichas materias primas puede ser una forma de incentivar el uso de bioplásticos como alternativa para producir polímeros biodegradables. Con la información obtenida existe suficiente evidencia estadística para afirmar la hipótesis general.

Hipótesis específicas

Hipótesis nula para la extracción del almidón de papa

- Los diferentes tratamientos de extracción de almidón de papa no influyen en el porcentaje de rendimiento.

La extracción de almidón a partir de papa (*Solanum tuberosum*), propuesta en la presente investigación, mostro que el tratamiento T1 fue el mejor con 13,08%. Sin embargo, el análisis de varianza indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos. En base a lo anterior podemos indicar que el almidón de papa es fuente importante para la producción de bioplástico y con ello se demuestra que existe evidencia estadística para afirmar la hipótesis nula.

Hipótesis alternativa para la extracción del almidón de yuca

- Los diferentes tratamientos de extracción de almidón de yuca influyen en el porcentaje de rendimiento.

La extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*), propuesta en la presente investigación, mostro que el tratamiento T1 fue el mejor con 19,25%, con ello de demuestra que el almidón de yuca es fuente importante para la producción de bioplástico. El análisis de varianza indica que

existe diferencias significativas entre tratamientos y la información obtenida es suficiente evidencia estadística para afirmar la hipótesis alternativa.

Hipótesis nula para la formulación del bioplástico como envoltura de alimentos

- Las formulaciones del bioplástico a partir del almidón de papa y yuca no influyen en las propiedades físico químicas.

El análisis de solubilidad del almidón indica que el tratamiento T1 es el mejor con un valor de 29,29%, por lo que es ideal para la elaboración del bioplástico y su posterior uso como envoltura de alimentos. El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa.

La permeabilidad del almidón que mejor resultado presento fue el tratamiento T1 con 1,36 $\text{g}\cdot\text{mm}/\text{h}\cdot\text{m}^2$, lo que indica que a menor permeabilidad mejor calidad exhibe el bioplástico frente al uso como envoltura de alimentos. El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa.

CONCLUSIONES

El bioplástico obtenido a partir del almidón de papa y yuca con una concentración de 40% - 60% respectivamente y cuyos valores de la formulación fueron: 5 g de almidón; 2 ml de glicerina; 60 ml de agua destilada y 4 ml de ácido acético, es el que mejor resultado alcanzó. Reafirmando su calidad con un buen aspecto translúcido, buena estabilidad y una textura lisa. Además, mediante pruebas piloto se comprobó que los bioplásticos obtenidos en el presente estudio pueden ser utilizados como envoltura de alimentos ya que puede sustituir a las fundas plásticas sintéticas, debido a que aumenta la vida útil de las frutas por un tiempo mayor a 15 días.

La caracterización del almidón de papa y yuca para su aplicación en la síntesis de bioplástico mostraron que el almidón de papa posee un porcentaje de humedad de 10,08%, cenizas 0,32%, solubilidad 4,88%, pH 6,75, viscosidad 7550,00 cp, temperatura de gelatinización 61,30°C, amilosa 30,91% y amilopectina 68,44%; mientras que el almidón de yuca mostró un porcentaje de humedad de 10,07%, cenizas 0,17%, solubilidad 2,30%, pH 6,90, viscosidad 11880,00 cp, temperatura de gelatinización 64,00°C, amilosa 25,97% y amilopectina 73,07%, con ello se demuestra que los almidones de papa y yuca son ideales para su aplicación en la síntesis de bioplástico.

Se determinó la mejor formulación para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de papa y yuca, donde el T1 presentó la menor solubilidad (29,29%) y menor permeabilidad (1,36 g*mm/h*m²), las cuales son ideales para la fabricación de bioplástico y su posterior uso como envoltura de alimentos.

La evaluación de los parámetros físico químicos del bioplástico, mostró un porcentaje de humedad de 11,17% con una solubilidad de 29,29% y una permeabilidad de 1,36 g*mm/h*m². La biodegradabilidad del bioplástico en ambiente: aerobio fue de 1% con una reducción del área de 1,11 cm², en anaerobio 87,10% y acuoso 95,50% a los 42 días respectivamente. Lo cual lleva a concluir que las láminas de bioplástico cumplieron con las características de degradación dentro del plazo determinado por la norma.

RECOMENDACIONES

Para la fabricación de las láminas de plástico biodegradable es recomendable disponer de una extrusora de laboratorio. Lo que contribuirá aún más en la investigación de polímeros orgánicos de fuentes renovables, que fomentarán la disminución del uso de plásticos tradicionales.

Promover la elaboración y uso de láminas biodegradables en los diferentes establecimientos y centros comerciales del cantón como sustituto del plástico común causante de contaminación.

Realizar investigaciones con mayor cantidad de proporciones de materia prima utilizada, a fin de maximizar la base de datos disponible acerca de las cantidades de materia prima y precios por elaboración de bioplásticos.

Socializar la información obtenida acerca de la facilidad de elaboración, ventajas ambientales y tiempos de degradación de los bioplásticos a partir de residuo de almidón de yuca.

GLOSARIO

ALMIDÓN: sustancia blancuzca, inodora e insípida, con diferente tamaño y forma de partícula, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales (Sanchez, 2017, p.24).

BIOPLÁSTICO: es el término usado para describir materiales plásticos derivados de sustancias naturales (Sanchez, 2017, p.24).

CENTRIFUGACIÓN: método de separación de mezclas por medio de sedimentación, se usa para acelerar este efecto físico de una mezcla por acción de una aceleración centrífuga y los componentes más pesados se precipitan y los livianos quedan de sobrenadante (Holguin, 2019, p.17).

FILTRACIÓN: proceso de separación de partículas sólidas en un líquido por medio de un material poroso denominado filtro (Holguin, 2019, p.17).

GRANULO: materiales que son presentados con un tamaño de partícula estándar o uniforme (Holguin, 2019, p.17).

HOMOPOLIMERO: polímero que está formado por el mismo monómero a lo largo de la cadena que lo conforma, el polietileno es un ejemplo de esta familia (Holguin, 2019, p.18).

MATRIZ DE SELECCIÓN: es una técnica de clasificación jerárquica para evaluar proyectos potenciales, problemas, alternativas basadas en un criterio específico o dimensiones de calidad (Holguin, 2019, p.17).

MEZCLADOR: también denominado agitador, es un equipo diseñado para preparar disoluciones, suspensiones o mezclar líquidos (Holguin, 2019, p.18).

MOLIENDA: proceso unitario que consiste en disminuir el tamaño de partícula de una materia sólida, se habla de molienda cuando se trata de partículas con tamaños inferiores a 2,54 cm (Holguin, 2019, p.18).

PAPA: también denominado patata, es un tubérculo comestible que se extrae de la tierra, es la reserva de energía de la planta herbácea *Solanum tuberosum* (Holguin, 2019, p.18).

pH: medida de acidez o alcalinidad de una disolución (Holguin, 2019, p.18).

PLÁSTICO: es el término para describir una gama amplia de materiales sintéticos o semisintéticos (Holguin, 2019, p.17).

REACCIÓN: es todo proceso termodinámico en el cual dos o más sustancias, se transforman cambiando su estructura molecular y sus enlaces, en otras sustancias denominadas productos (Holguin, 2019, p.18).

REACTOR: es un equipo donde ocurre una reacción química, está diseñado para maximizar la conversión o la selectividad al menor coste posible (Holguin, 2019, p.18).

TAMIZAR: operación unitaria básica la cual se basa en pasar el material granulado a través de un tamiz con el fin de disminuir el tamaño de partícula (Holguin, 2019, p.17).

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, E.; et al. "Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)" [en línea]. Costa Rica: s.n. ISBN 9789968586160. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>.

ÁLVAREZ, R.; et al. "Alternativa ecológica en la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca dulce". *Agrollanía*, [en línea], 2017, vol. 14, no. Enero-Diciembre, pp. 37-44. Disponible: <https://biblat.unam.mx/hevila/Agrollania/2017/vol14/6.pdf>

ALVIS, A.; et al. "Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas". *Informacion Tecnologica*, [en línea], 2008, vol. 19, no. 1, pp. 19-28. ISSN 07168756. DOI 10.4067/s0718-07642008000100004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D883-11; Standard terminology relating to plastics*. 2011. S.l.: s.n.

AVELLÁN, A.; et al. "Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.)". *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, [en línea], 2020, vol. 7, no. 1, pp. 1-11.

AVIL, G.R., "Obtencion y caracterizacion de un polimero biodegradable a partir del almidon de yuca". *Ingeniería y Ciencia*, [en línea], 2006, vol. 2, pp. 5-28.

BUITRAGO, G.; et al. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [en línea], 2004, vol. 8, no. 1, pp. 102-110. ISSN 1807-1929. DOI 10.1590/s1415-43662004000100015.

CARVAJAL, L. & INSUASTI, M., Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz)" [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad Técnica del Norte. 2010. pp. 1-164.

CHARRO, M. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad Central del Ecuador. 2015. pp. 1-164.

CHULDE, M. Elaboración de una película plástica biodegradable a partir de almidón extraído de residuos de dos diferentes variedades de papas industrializadas. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad de las Américas. 2020. pp. 1-111.

DUSSÁN, S.; et al. "Efecto de un recubrimiento comestible y de diferentes empaques durante el almacenamiento refrigerado de mango Tommy Atkins mínimamente procesado". *Informacion Tecnologica*, [en línea], 2014, vol. 25, no. 4, pp. 123-130. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642014000400014.

ESCOBAR, D.; et al. "Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador". *Innotec*, [en línea], 2014, vol. 4, no. 4, pp. 33-36. DOI 10.26461/04.07.

FERRÉ, J. El diseño factorial completo 2k. *Tarragona: Grupo de Quimiometría y Cualimetría*, 2002, pp. 2-8.

GARCÍA, A., Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. Ira. San Salvador. 2015. ISBN 9789996150210.

GONZÁLEZ, L. "Proposed pathways for the reduction of a reactive azo dye in an anaerobic fixed bed reactor". *World J Microbiol Biotechnol*, [en línea], 2009, vol. 25, pp. 415-426.

GUAMÁN, J. Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial. (Trabajo de titulación). (Pregrado), S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. pp. 1-88.

HERNÁNDEZ, M., et al. "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México". *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [en línea], 2008, vol. 28, no. 3, pp. 718-726. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/s0101-20612008000300031.

HOLGUIN, J. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa [en línea]. S.l.: Fundación Universidad de América. (Trabajo de titulación). (Pregrado), 2019. Disponible en: https://barnard.edu/sites/default/files/inline/student_user_guide_for_spss.pdf <http://www.im.com/support> http://www.spss.com/sites/dm-book/legacy/ProgDataMgmt_SPSS17.pdf [http://www.neps-data.de/Portals/0/Working Papers/WP_XLV.pdf](http://www.neps-data.de/Portals/0/Working%20Papers/WP_XLV.pdf) <http://www2.psy>.

INAMHI, Anuario Climatológico 2020. . S.l.:

INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2051 : 2013 Primera revisión. 2013. S.l.:

LÓPEZ, A.; et al. “Potato starch-based biocomposites with enhanced thermal , mechanical and barrier properties comprising water-resistant electrospun poly (vinyl alcohol) fi bers and yerba mate extract”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2019, vol. 215, pp. 377-387. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/j.carbpol.2019.03.105. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.105>.

LUCAS, J.; et al. “Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum* L.)”. *Acta Agronomica*, [en línea], 2013, vol. 62, no. 2, pp. 83-96. ISSN 01202812.

MATHEW, A. & DUFRESNE, A. “Plasticized Waxy Maize Starch: Effect of Polyols and Relative Humidity on Material Properties”. *Biomacromolecules*, [en línea], 2002, vol. 3, pp. 1101-1108.

MENOSCAL, R. & RODRIGUEZ, E. Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*). *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí “Manuel Félix López”* [en línea], 2017, pp. 50. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>.

MOGROVEJO, A. Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (*Oxalis tuberosa* Molina) variedad amarilla [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad Politécnica Salesiana. 2019. pp. 1-116. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17712/1/UPS-CT008394.pdf>.

PARDO, O., “Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa”. *Acta Agronomica*, [en línea], 2017, vol. 62, no. 4, pp. 289-295.

RAMÍREZ, L.; et al. Caracterización de almidón nativo extraído de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*) para su aplicación en un derivado cárnico [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad de La Salle. 2011. pp. 1-260. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1050&context=ing_alimentos.

RHIM, J.W.; et al. “Bio-nanocomposites for food packaging applications”. *Progress in Polymer Science* [en línea], vol. 38, no. 10-11, pp. 1629-1652. ISSN 00796700. DOI 10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>.

RIMAC, A. Bioplasticos [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad Científica del Sur. 20189 pp. 1-17. Disponible en: <http://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/UCS/806>.

RIVERA, Á. Elaboración de láminas biodegradables a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y la resina de sábila (*Aloe vera*). (Trabajo de titulación). (Pregrado), S.I.: Universidad Nacional de Piura. 2019. pp. 1-81.

RODRÍGUEZ, L. Desarrollo y caracterización de un material compuesto a partir de almidón de yuca reforzado con fibras Lignocelulósicas [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado), S.I.: Universidad de los Andes. 2012. pp. 1-52. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15020/u622721.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RUIZ, G. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y ciencia*, [en línea], 2006, vol. 2, no. 4, pp. 5-28.

RUIZ, G. “Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca”. *Revista EIA*, [en línea], 2009, vol. 12, pp. 67-78.

SAGNELLI, D.; et al. “Plant-crafted starches for bioplastics production”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2016, vol. 152, pp. 398-408. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/j.carbpol.2016.07.039. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.039>.

SANCHEZ, K. "Comparación de la calidad de bioplásticos obtenidos del almidón de los residuos de papa y camote de restaurantes del mercado central del distrito de independencia. (Trabajo de titulación). (Pregrado), S.I.: Universidad Cesar Vallejo. 2017. pp. 1-115.

SHAFQAT, A.; et al. “Saudi Journal of Biological Sciences Synthesis and characterization of starch based bioplastics using varying plant-based ingredients , plasticizers and natural fillers”. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea], 2020, no. xxxx. ISSN 1319-562X. DOI 10.1016/j.sjbs.2020.12.015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.015>.

THIRUCHELVI, R.; et al. “Materials Today: Proceedings Bioplastics as better alternative to petro plastic”. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020, vol. 37, pp. 1634-1639. ISSN 2214-7853. DOI 10.1016/j.matpr.2020.07.176. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.176>.

TORRES, F.; et al. “Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean

crops”. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2011, vol. 48, no. 4, pp. 603-606. ISSN 01418130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.

VARGAS, G.; et al. “Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación”. *Scientia Agropecuaria*, [en línea], 2016, vol. 7, no. 3, pp. 223-230. ISSN 20779917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2016.03.09.

VARGAS, P. & MEDINA, O. “Influencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos , a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)”. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, [en línea], 2019, vol. 17, no. 2, pp. 239-249.

VELASCO, R.; et al. “Caracterización morfológica de películas biodegradables a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, [en línea], 2012, vol. 10, no. 2, pp. 152-159. ISSN 1692-3561.

VILLALTA, A. Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango (*Mangifera indica L.*) a escala laboratorio. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad de San Carlos de Guatemala. 2018. pp. 1-114.

YAMUNAQUÉ, K.; et al. Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa polímeros del norte S.A.C. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad de Piura. 2018. pp. 1-102. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3830/PYT_Informe_Final_Proyecto_BOLSASBIODEGRADABLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ZÁRATE, L.; et al. “Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja)”. *Revista Latinoamericana de la Papa*, [en línea], 2016, vol. 18, no. 1, pp. 1-24. ISSN 1853-4961. DOI 10.37066/ralap.v18i1.206.

ANEXOS

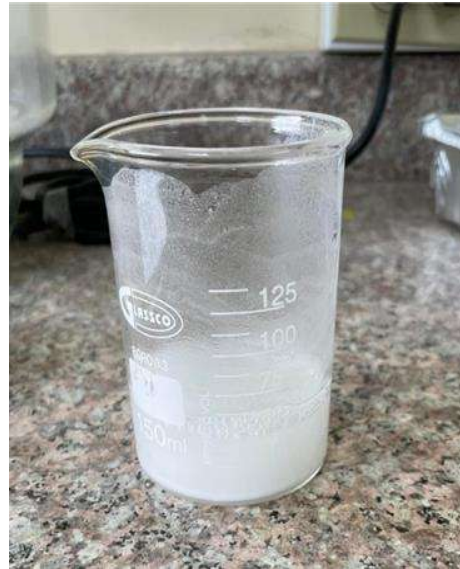
ANEXO A. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA Y YUCA.



ANEXO B. SECADO Y RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN.



ANEXO C. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN.



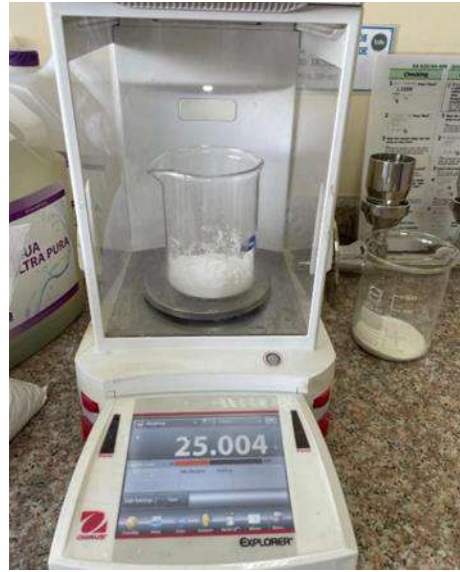
ANEXO D. PH DEL ALMIDÓN.



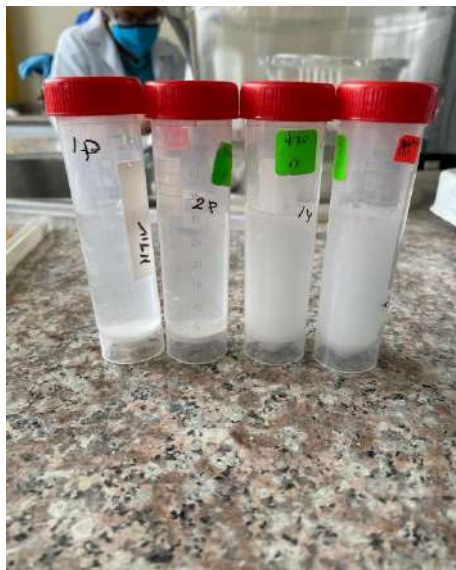
ANEXO E. HUMEDAD Y CENIZAS.



ANEXO F. VISCOSIDAD DEL ALMIDÓN.



ANEXO G. SOLUBILIDAD DEL ALMIDÓN.





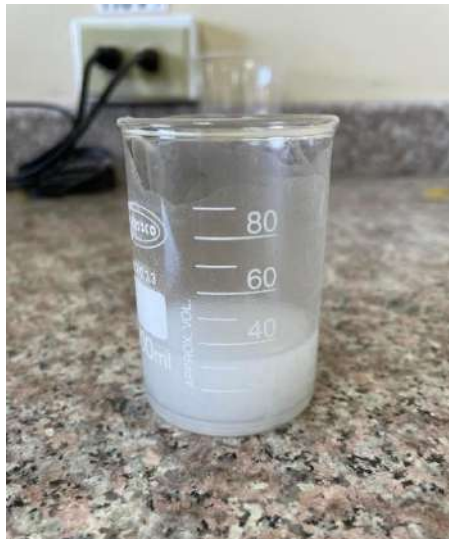
ANEXO H. SOLUBILIDAD DEL BIOPLÁSTICO.



ANEXO I. PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA.



ANEXO J. FORMULACIÓN DEL BIOPLÁSTICO.

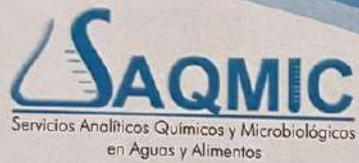




ANEXO K. EVALUACIÓN DEL BIOPLÁSTICO PARA SU USO COMO ENVOLTURA DE ALIMENTOS.



ANEXO L. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOPLÁSTICO.



INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Fecha: 26 de Agosto del 2021

Análisis solicitado por: Srta. María Cristina Alarcón Cabezas

Tipo de muestras: Bioplástico del almidón de (*Solanum tuberosum* y *Manihot esculenta*)

Localidad: Riobamba

Análisis Microbiológico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Aerobios Mesófilos	UFC/g	Siembre en masa	<10
Coliformes Totales	UFC/g	Siembre en masa	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/g	Siembre en masa	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembre en masa	<10

Observaciones:

Atentamente:



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXO M. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE PAPA.

EXAMEN MICROBIOLÓGICO

CLIENTE: María Cristina Alarcón Cabezas		
DIRECCIÓN: Riobamba		TELÉFONO: 0984580008
TIPO DE MUESTRA: Almidón de Papa		
FECHA DE RECEPCIÓN: 30 de junio del 2021		
FECHA DE MUESTREO: 30 de junio del 2021		
EXAMEN FÍSICO		
COLOR: Característico		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Normal, libre de material extraño		
PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Escherichia coli UEC/ g	Siembra en masa	Ausencia
Aerobios mesófilos UFC/ g	Siembra en masa	<10
Mohos y levaduras UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia

ANÁLISIS PROXIMAL

PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Proteína %	Volumétrico por microkjeldahl	0.262
Grasa %	Gravimétrico por Soxhlet	0.058
Fibra %	gravimétrico por digestión ácido-base	0.330

FECHA DE ANÁLISIS: 30 de junio del 2021
FECHA DE ENTREGA: 11 de agosto del 2021
RESPONSABLE:
<p>Dra. Gina Álvarez R.</p> <p>El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.</p>

ANEXO N. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE YUCA.

EXAMEN MICROBIOLÓGICO

CLIENTE: María Cristina Alarcón Cabezas		
DIRECCIÓN: Riobamba		TELÉFONO: 0984560008
TIPO DE MUESTRA: Almidón de Yuca		
FECHA DE RECEPCIÓN: 30 de junio del 2021		
FECHA DE MUESTREO: 30 de junio del 2021		
EXAMEN FÍSICO		
COLOR: Característico		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Normal, libre de material extraño		
PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
<i>Escherichia coli</i> UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia
Aerobios mesófilos UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras UFC/ g	Siembra en masa	Ausencia


ANÁLISIS PROXIMAL

PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Proteína %	Volumétrico por microkjeldahl	0.349
Grasa %	Gravimétrico por Soxhlet	0.117
Fibra %	gravimétrico por digestión ácido-base	0.490


FECHA DE ANÁLISIS: 30 de junio del 2021
FECHA DE ENTREGA: 11 de agosto del 2021
RESPONSABLE:
Dra. Gina Álvarez R.
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

ANEXO O. ANÁLISIS DE ALMIDÓN DE PAPA Y YUCA.

MC-LSAIA-2201-08



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, Cutugagua Tfs. 2990991-3007134, Fax 3007134
 Casilla postal 17-01-340



INFORME DE ENSAYO No: 21-095

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. María Cristina Alarcón **INSTITUCIÓN:** Particular
DIRECCION: Riobamba **ATENCIÓN:** Srta. María Cristina Alarcón
FECHA DE EMISION: 01/06/2021 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 06/05/2021
FECHA DE ANALISIS: Del 06 al 21 de mayo del 2021 **HORA DE RECEPCIÓN:** 11h45
ANÁLISIS SOLICITADO: Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ^D	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	
21-0597	6.46	30.91	Almidón de papa
21-0598	7.14	25.97	Almidón de Yuca

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

RESPONSABLES DEL INFORME




IVÁN RODRIGO SAMANIEGO MALDONADO
Dr. Iván Samaniego
RESPONSABLE TÉCNICO



BLADIMIR ESPINOSA ORTIZ
Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibida. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con (*) son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información.

ANEXO P. ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M1.




Ing. J. Anibal Vilán B. MSc.

INFORME DE RESULTADOS
ENSAYO DE TRACCIÓN (Determinación RO 10-1)

SOLICITADO POR: María Cristina Alarcón	
PROYECTO DE TRABAJO: FORTIFICACIÓN DE BIOPOLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE PAPA (Solanum tuberosum) Y DE YUCA (Manihot esculenta) PARA USO COMO BIOPOLÁSTICO DE ALUMINIO*	
OBJETIVO: DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DEL BIOPOLÁSTICO Y BIOPOLÍMERO	
TIPO DE MATERIAL: BIOPOLÍMERO	
MATERIAL: BIOPOLÍMERO DE ALUMINIO	
FECHA DE FABRICACIÓN: 2021-05	
MUESTRA ENTREGADA POR: Srta. María Cristina Alarcón	
PIEZA DE ENSAYO: 10x10x2	
LABORATORIO: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIAP) ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA	
MARCA: PANAMERICANA SUR (INIAP)	
UBICACIÓN: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIAP) ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA	

DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	M1
CARACTERÍSTICA:	TRANSPARENTE
ESPEZOR [mm]	0,05
ANCHURA [mm]	7,75
LONGITUD [mm]	21,00
SECCIÓN TRANSVERSAL [mm²]	0,75
MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.80E+09
CARGA DE FLECCIÓN [N]	1,30
DEFLEXIÓN DE FLECCIÓN [mm]	1,80
CARGA MÁXIMA [N]	1,01
DEFLEXIÓN MÁXIMA [mm]	1,01
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]	1,01

OBSERVACIONES:

Aprobado por:

Ing. J. Anibal Vilán B. MSc.
 JEFE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

1/1

Dr. Calle Roma #7 y Páez, Cda. Pallatona Tlf: 02123425 - Cel: 987654321 email: jvblan@iniap.gub.ve
 Riobamba - Ecuador

ANEXO Q. ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M2.

LenMaV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B. MSc.

INFORME DE RESULTADOS
ENSAYO DE TRACCIÓN (Normativa ISO 527-1
M2)

OBJETIVO DEL ENSAYO: Medir Características

PROYECTO DE ORIGEN: VINCENSO DE BIOPOLÍMICO A PARTIR DEL ALMORCÓN
PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPOLÍMICO Y DE PLÁSTICO (Materia Plástica)

INDICACIONES: SUPLENIR LAS DEFICIENCIAS DEL BIOPOLÍMICO Y PLÁSTICO

TIPO DE MATERIAL: BIOPOLÍMICO
MATERIAL: LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN: 2023-07

NORMA UTILIZADA: NTP 82001 (2017)
FECHA DE ENSAYO: 21/08/23

COLINGO Y FILIZOLA S.A.S. (UNIDAD DE INNOVACIÓN - VARECIBO)
SUCURSAL INDUSTRIAL TAYPI TAYPI YACU PALE AL BARRIO
CALLE 1130 CARBONERA LOMA DEL BARRIO CDO BENT. MI

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL: M2

CARACTERÍSTICA	DEMANDADO
ESPESOR (mm)	0,08
ANCHURA (mm)	7,51
LONGITUD PARCIAL (mm)	29,08
SECCION TRANSVERSAL (mm ²)	0,58
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	839,670
CARGA DE FLECCIÓN (N)	1,00
ESFUERZO DE FLECCIÓN (MPa)	3,36
CARGA MÁXIMA (N)	1,00
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	3,36
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN (%)	1,00

Observaciones:

Aprobado por: 
Ing. Anibal Viñán B. MSc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Dr. Cde Roma N7 y Pabel, Cdo Politécnico | Tel: 22818420 - Cel: 98724298 | email: info@lenmav.com
Barrabamba - Ecuador

ANEXO R. ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO M3.

LenMaV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B. MSc.

INFORME DE RESULTADOS
ENSAYO DE TRACCIÓN (Normativa ISO 527-1
M2)

OBJETIVO DEL ENSAYO: Medir Características

PROYECTO DE ORIGEN: MATERIAS DE BIOPOLÍMICO A PARTIR DEL ALMORCÓN
PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPOLÍMICO Y DE PLÁSTICO (Materia Plástica)

INDICACIONES: SUPLENIR LAS DEFICIENCIAS DEL BIOPOLÍMICO Y PLÁSTICO

TIPO DE MATERIAL: BIOPOLÍMICO
MATERIAL: LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN: 2023-07

NORMA UTILIZADA: NTP 82001 (2017)
FECHA DE ENSAYO: 21/08/23

COLINGO Y FILIZOLA S.A.S. (UNIDAD DE INNOVACIÓN - VARECIBO)
SUCURSAL INDUSTRIAL TAYPI TAYPI YACU PALE AL BARRIO
CALLE 1130 CARBONERA LOMA DEL BARRIO CDO BENT. MI

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL: M3

CARACTERÍSTICA	DEMANDADO
ESPESOR (mm)	0,07
ANCHURA (mm)	7,43
LONGITUD PARCIAL (mm)	25,00
SECCION TRANSVERSAL (mm ²)	0,53
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	1.300,000
CARGA DE FLECCIÓN (N)	1,00
ESFUERZO DE FLECCIÓN (MPa)	3,36
CARGA MÁXIMA (N)	1,13
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	3,21
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN (%)	0,30

Observaciones:

Aprobado por: 
Ing. Anibal Viñán B. MSc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Dr. Cde Roma N7 y Pabel, Cdo Politécnico | Tel: 22818420 - Cel: 98724298 | email: info@lenmav.com
Barrabamba - Ecuador

ANEXO S. ENSAYO DE TRACCIÓN DEL BIOPLASTICO M4.


 Ing. J. Anibal Villán B. MSc.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Documentación RD 10 - 1	
07/20	
CLIENTE/PROYECTO	OTROS CONTROL
INDICACION DE TRACCIÓN	INDICACION DE BIOPLASTICO A PARTIR DEL ALAMBRE DE
PROTECTOR DE TRACCIÓN	PLA (Detalle Fabricación Y DE TELA (Detalle Fabricación)
INDICACION	PLA (Detalle Fabricación Y DE TELA (Detalle Fabricación)
TIPO DE MATERIAL	BIOPLASTICO
MATERIAL	PLA (Detalle Fabricación Y DE TELA (Detalle Fabricación)
FECHA DE FABRICACION	02/11/20
NORMA Y VIGENCIA	ISO 527-1
FECHA DE ENSAYO	07/20
EL PRESENTE INFORME FUE ELABORADO EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIAS PLASTICAS (SOLUCIONES) DE LA EMPRESA S.A. S.R.L.	
NOMBRE DEL CLIENTE: CERTIFICADA S.A.	
DESIGNACION DEL MATERIAL	M4
CARACTERISTICA	TRANSPARENTE
ESPEZOR (mm)	0,40
ANCHURA (mm)	1,75
LONGITUD INICIAL (mm)	25,00
SECCION TRANSVERSAL (mm ²)	0,70
REBAGO DE ELASTICIDAD (MPa)	1,21 E-06
CARGA DE FLEJENCIA (N)	1,02
ESFUERZO DE FLEJENCIA (MPa)	1,46
CARGA MAXIMA (N)	1,27
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	1,80
PORCENTAJE DE REDUCCION (N)	2,40
OBSERVACIONES:	
 Aprobado por: Ing. Anibal Villán B. MSc. JEFE DEL LABORATORIO ENSAYOS DE MATERIALES	

3/1

D.C. Calle Roma N°7 y Padua, Caba Pinaricito tel: 52704425 - Cel: 998704918 email: jvillan@lenmax.com
 Web: www.lenmax.com



espoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>María Cristina Alarcón Cabezas</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Bioquímica y Farmacia</i>
Título a optar: <i>Bioquímica Farmacéutica</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Número de identificación: 32014219C
e=LEONARDO@ESPPOCH.UTP
c=ENTENDIMIENTO DE CERTIFICACION DE
INFORMACION Y COMERCIO
ou=Espoch
o=UNIVERSIDAD UTEP
/i=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.04.12 16:23:38 -0500



0548-DBRA-UTP-2022