



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**PRODUCCIÓN DE UN BIOMATERIAL A PARTIR DE LA PAPA
CHINA (*Colocasia esculenta*) PARA EL EMBALAJE DE
ALIMENTOS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: ÁNGEL YAHIR SÁENZ AGUIRRE

DIRECTOR: Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Ángel Yahir Sáenz Aguirre

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, ÁNGEL YAHIR SÁENZ AGUIRRE, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor 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, 22 de marzo de 2022.

Ángel Yahir Sáenz Aguirre

050352683-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **PRODUCCIÓN DE UN BIOMATERIAL A PARTIR DE LA PAPA CHINA (*Colocasia esculenta*) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**, realizado por el señor: **ÁNGEL YAHIR SÁENZ AGUIRRE**, 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
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos MsC. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-22
Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2022-03-22
Ing. César Arturo Puente Guijarro PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-22

DEDICATORIA

El presente trabajo de Trabajo de Integración Curricular en Ingeniería Química está dedicado a mi familia, a mi padre Naún Sáenz, mi madre Betty Aguirre que gracias al amor incondicional y por el esfuerzo y sacrificio que me han brindado para cumplir una meta más en esta vida y a mi hermano Alejandro que me ha brindado su apoyo cuando lo he necesitado. A mis tíos que me han brindado su apoyo y ánimos durante esta etapa. Mi abuelita Hilda que gracias a sus consejos y sus motivaciones para seguir adelante. También, va dedicado en memoria de mis queridos abuelitos (Vicente, Marina y Wilson) gracias a sus consejos y su gran cariño. En fin, muchas gracias a todos.

Ángel

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, agradezco a Dios por brindarme la salud para seguir adelante. A mis padres y hermano que han sido mis pilares fundamentales para seguir adelante que gracias a su ayuda y su apoyo incondicional y así cumplir una meta más. A mis tíos que siempre me animaban A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por ser la institución que me ha educado como profesional en la carrera de Ingeniería Química. También agradezco al Ing. Hannibal Brito y al Ing. Cesar Puente por el apoyo y asesoramiento en este trabajo de Trabajo de Integración Curricular. Agradezco a mis amigos por su amistad ya que siempre han estado a mi lado durante la carrera.

Ángel

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY/ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Identificación del Problema.....	2
1.2. Justificación de la Investigación	3
1.3. Objetivos de la Investigación	4
1.3.1. General	4
1.3.2. Específicos	4

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	5
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	5
2.2. Marco conceptual	7
2.2.1. Productos agrícolas en el Ecuador.....	7
2.2.1.2. Tubérculo	8
2.2.1.3. La papa china (Tubérculo).....	8
2.2.1.4. Componente de la papa china	9
2.2.1.5. Origen y distribución.....	9
2.2.1.6. Clasificación taxonómica	9
2.2.1.7. Características fisicoquímicas	10
2.2.2. Biomaterial a partir del almidón	13
2.2.2.1. Composiciones del biomaterial	13
2.2.2.2. Bioplásticos para el envasado de alimentos	17
2.2.2.3. Clasificación de los materiales plásticos.....	17

2.2.2.4.	<i>Clasificación de los principales polímeros biodegradables</i>	18
2.2.2.5.	<i>Diferencias entre bioplásticos y petroplásticos</i>	19
2.2.2.6.	<i>Propiedades de los bioplásticos a base de almidón</i>	20
2.2.2.7.	<i>Método casting para la elaboración del biomaterial</i>	20
2.3.	Planteamiento de las hipótesis	21
2.3.1.	<i>General</i>	21
2.3.2.	<i>Específicas</i>	21
2.4.	Identificación de variables	22
2.5.	Operacionalización de Variables	23
2.6.	Matriz de Consistencia	24
2.7.	Tipo y Diseño de Investigación	27
2.7.1.	<i>Tipo de investigación</i>	27
2.7.2.	<i>Diseño de investigación</i>	27
2.8.	Unidad de Análisis	28
2.9.	Población de Estudio	28
2.10.	Tamaño de Muestra	29
2.11.	Selección de muestra	29
2.12.	Técnicas de Recolección de Datos	30

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	47
3.1.	Recolección de datos del almidón de papa china y materia prima	47
3.1.1.	<i>Características físicas de la papa china</i>	47
3.1.2.	<i>Extracción de almidón</i>	47
3.1.3.	<i>Curva de secado del almidón</i>	49
3.1.4.	<i>Caracterización fisicoquímicos del almidón de papa china y materia prima</i>	49
3.1.5.	<i>Propiedades funcionales del almidón y materia prima</i>	51
3.1.6.	<i>Elaboración del biomaterial a partir del almidón de papa china</i>	51
3.1.7.	<i>Caracterización del biomaterial a partir del almidón de papa china</i>	54
3.2.	Cálculos	57
3.2.1.	<i>Porcentaje del rendimiento del almidón de papa china</i>	57
3.2.2.	<i>Porcentaje de humedad y materia seca</i>	57
3.2.3.	<i>Porcentaje de ceniza</i>	58
3.2.4.	<i>Densidad real con el picnómetro</i>	58
3.2.5.	<i>Densidad aparente con la probeta</i>	58

3.2.6.	<i>Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)</i>	59
3.2.7.	<i>Porcentaje de solubilidad del biomaterial</i>	59
3.2.8.	<i>Transmisión de vapor de agua y permeabilidad de vapor de agua del biomaterial</i> ..	60
3.2.9.	<i>Módulo de elasticidad del biomaterial</i>	60
3.2.10.	<i>Porcentaje de biodegradabilidad del agua, suelo y ambiente</i>	60
3.3.	Resultados	61
3.3.1.	<i>Rendimiento del almidón mediante el método de vía húmeda</i>	61
3.3.1.1.	<i>Análisis de varianza del rendimiento del almidón (vía húmeda)</i>	60
3.3.1.2.	<i>Análisis de Tukey sobre el rendimiento del almidón (vía húmeda)</i>	62
3.3.1.3.	<i>Curva de secado del almidón</i>	63
3.3.1.4.	<i>Caracterización fisicoquímicos, organolépticas y microbiológicas del almidón y materia prima</i>	64
3.3.1.5.	<i>Elaboración del biomaterial a partir del almidón de papa china</i>	66
3.3.1.6.	<i>Caracterización y propiedades mecánicas del biomaterial</i>	68
3.3.1.7.	<i>Biodegradabilidad del biomaterial</i>	69
3.4.	Discusión	76
3.5.	Prueba de hipótesis	83
CONCLUSIONES		85
RECOMENDACIONES		86
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Datos bibliográficos sobre la obtención de los bioplásticos a partir del almidón como antecedentes para la investigación	6
Tabla 2-2:	Categoría de uso del suelo en el Ecuador	7
Tabla 3-2:	Superficie según región, por uso agropecuario (ha)	8
Tabla 4-2:	Taxonomía de la papa china.....	10
Tabla 5-2:	Contenido de carbohidratos en la papa china (base seca).....	10
Tabla 6-2:	Composición química de los tubérculos de papa china (base fresca)	11
Tabla 7-2:	Composición mineral de los tubérculos de papa china (base fresca).....	11
Tabla 8-2:	Factores anti nutricionales en papa china.....	12
Tabla 9-2:	Contenido de factores anti nutricionales en cormelos de papa china tratados	12
Tabla 10-2:	Composición bioplástica.....	13
Tabla 11-2:	Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria	15
Tabla 12-2:	Identificación de variables	22
Tabla 13-2:	Operacionalidad de variables	23
Tabla 14-2:	Matriz de Consistencia.....	24
Tabla 15-2:	Factores y niveles del diseño de experimento	28
Tabla 16-2:	Matriz de diseño de experimentos factorial 22	28
Tabla 17-2:	Extracción del Almidón por el método de vía húmeda	30
Tabla 18-2:	Caracterización fisicoquímica, organolépticas, microbiológicas y funcionales del almidón de papa china	33
Tabla 19-2:	Protocolo de obtención del biomaterial.....	39
Tabla 20-2:	Caracterización del biomaterial.....	42
Tabla 1-3:	Características físicas de la papa china	47
Tabla 2-3:	Rendimiento de la extracción de almidón de papa china.....	48
Tabla 3-3:	Curva de secado del tratamiento 3 (T3)	49
Tabla 4-3:	Humedad y sustancia seca.....	49
Tabla 5-3:	Porcentaje de ceniza para el almidón y materia prima	50
Tabla 6-3:	Densidad para el almidón de papa china mediante el picnómetro	50
Tabla 7-3:	Densidad aparente para el almidón empacado mediante la probeta	50
Tabla 8-3:	IAA, ISA y PH del almidón	51
Tabla 9-3:	IAA, ISA y PH del almidón (continuación)	51
Tabla 10-3:	Datos de la elaboración del biomaterial a partir de almidón de papa china.....	52
Tabla 11-3:	Datos de la obtención del biomaterial por el método casting a partir de almidón de papa china	53

Tabla 12-3:	Espesor del biomaterial en las cajas Petri.....	54
Tabla 13-3:	Datos de solubilidad del biomaterial.....	54
Tabla 14-3:	Tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) y permeabilidad de vapor de agua (WVP) del biomaterial.....	55
Tabla 15-3:	Biodegradabilidad del biomaterial en el agua	56
Tabla 16-3:	Biodegradabilidad del biomaterial en el ambiente	56
Tabla 17-3:	Biodegradabilidad del biomaterial en el suelo	56
Tabla 18-3:	Espesor para las pruebas mecánicas del biomaterial	57
Tabla 19-3:	Información de los factores.....	61
Tabla 20-3:	Análisis de Varianza (ANOVA) del rendimiento del almidón	62
Tabla 21-3:	Resumen del modelo.....	62
Tabla 22-3:	Comparación de factores de Tukey	62
Tabla 23-3:	Características organolépticas del almidón	64
Tabla 24-3:	Características organolépticas de la papa china	64
Tabla 25-3:	Análisis microbiológico del almidón	64
Tabla 26-3:	Caracterización fisicoquímicas del almidón de papa china y su materia prima...	65
Tabla 27-3:	Propiedades funcionales del almidón de papa china	66
Tabla 28-3:	Aplicación del método casting en la elaboración del biomaterial	67
Tabla 29-3:	Composición del biomaterial	67
Tabla 30-3:	Características físicas del biomaterial	67
Tabla 31-3:	Caracterización del biomaterial.....	68
Tabla 32-3:	Pruebas mecánicas del biomaterial	68
Tabla 33-3:	Biodegradación del biomaterial en el agua	69
Tabla 34-3:	Biodegradación del biomaterial en el ambiente	70
Tabla 35-3:	Biodegradación del biomaterial en el suelo.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Componentes de la papa china.	9
Figura 2-2:	Estructura de los polímeros de almidón (a) amilosa y (b) amilopectina	14
Figura 3-2:	Prueba de lugol en el almidón de la papa china.	16
Figura 4-2:	Clasificación de los plásticos.....	18
Figura 5-2:	Clasificación de los polímeros biodegradables.....	19
Figura 6-2:	Representación del diseño factorial 2^2	27
Figura 7-2:	Protocolo para la obtención del biomaterial	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de bloques de la extracción de almidón (vía húmeda)	32
Gráfico 1-3:	Rendimiento del almidón por el método de vía húmeda.	61
Gráfico 2-3:	Diferencias de las medias por el método de Tukey	63
Gráfico 3-3:	Curva de secado de almidón del tratamiento 3 (T3).....	63
Gráfico 4-3:	Espesor del biomaterial.....	73
Gráfico 5-3:	Porcentaje de humedad del biomaterial	73
Gráfico 6-3:	Porcentaje de solubilidad del biomaterial	74
Gráfico 7-3:	Transmisión de vapor de agua del biomaterial.....	74
Gráfico 8-3:	Permeabilidad de vapor de agua del biomaterial.....	75
Gráfico 9-3:	Pruebas mecánicas del biomaterial	75
Gráfico 10-3:	Porcentaje de biodegradación en agua, ambiente y suelo.....	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Rendimiento del almidón	30
Ecuación 2-2:	Porcentaje de humedad.....	33
Ecuación 3-2:	Porcentaje de materia seca	33
Ecuación 4-2:	Porcentaje de humedad.....	34
Ecuación 5-2:	Densidad aparente	35
Ecuación 6-2:	Densidad real	36
Ecuación 7-2:	Índice de absorción de agua (IAA).....	37
Ecuación 8-2:	Índice de solubilidad en agua (ISA)	37
Ecuación 9-2:	Poder de hinchamiento (PH)	38
Ecuación 10-2:	Porcentaje de solubilidad	42
Ecuación 11-2:	Tasa de transmisión de vapor de agua.....	43
Ecuación 12-2:	Permeabilidad de vapor de agua.....	44
Ecuación 13-2:	Porcentaje de biodegradabilidad.....	45
Ecuación 14-2:	El módulo de elasticidad	45

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MATERIA PRIMA

ANEXO B: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR EL MÉTODO DE VÍA HÚMEDA

ANEXO C: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR EL MÉTODO DE VÍA HÚMEDA
(CONTINUACIÓN)

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL ALMIDÓN

ANEXO F: CARACTERIZACIÓN DEL BIOMATERIAL

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DEL BIOMATERIAL (CONTINUACIÓN)

ANEXO H: PROBETA Y PROGRAMA IMAGEJ

ANEXO I: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DEL ALMIDÓN
Y MATERIA PRIMA

ANEXO J: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN

RESUMEN

En este proyecto de investigación se realizó la producción de un biomaterial a base del almidón de la papa china (*Colocasia esculenta*), para ello, se utilizó el método casting aplicando la metodología del diseño factorial 2 elevado al cuadrado (2k), el cual consiste en el estudio de dos factores que son la glicerina (3.2% y 4.2%) y el almidón (6.5% y 7.5%) representados por los niveles bajo y alto. Por tanto, para determinar las combinaciones de los factores se empleó el programa Statgraphics Centurion XVIII que generó 4 tratamientos con sus respectivas repeticiones. Por otro lado, en el análisis de resultados se usó el análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias significativas se determinaron mediante la prueba de Tukey con la finalidad de usarlo como embalaje de alimentos. Para la extracción del almidón se utilizó el método de vía húmeda obteniendo un rendimiento del 19.99%. Por otro lado, en la caracterización del almidón se obtuvo un 30.21% de amilosa obteniendo biomateriales de fácil moldeo, formación de película y transparencia. En la caracterización, se evidenció que un aumento en la concentración de glicerina provocó un incremento en el contenido de humedad, solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua. En las pruebas mecánicas, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad se redujeron significativamente con el aumento de glicerina de 6.36MPa a 1.19MPa y de 42.30MPa a 16.43MPa, respectivamente. Por el contrario, el porcentaje de elongación se redujo de 15% a 8.57% debido a la variación del espesor. De acuerdo con los resultados obtenidos se dedujo que el mejor tratamiento es el T1 como el más apto para embalajes de alimentos. Para la mejora de las propiedades del biomaterial se recomienda usar aditivos adicionales como sorbitol, polivinil alcohol, grafeno, entre otros.

Palabras clave: <PAPA CHINA (*Colocasia esculenta*)>, <ALMIDÓN>, <BIOMATERIAL DE ALMIDÓN DE PAPA CHINA>, <PROPIEDADES MECÁNICAS> <MÉTODO CASTING>, <EXTRACCIÓN POR VÍA HÚMEDA>, <BIOPLÁSTICO>, <AMILOSA>.

LEONAR
DO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, o=BANCO
CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION-EGIBCE,
E=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.04.14 11:42:07
-05'00'



0692-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

In this research project, the production of a biomaterial based on the starch of the Chinese potato (*Colocasia esculenta*) was carried out, the casting method was used, applying the methodology of the factorial design 2 squared (2k), which consists in the study of two factors that are glycerin (3.2% and 4.2%) and starch (6.5% and 7.5%) represented by low and high levels. Therefore, to determine the factor combinations, the Stat graphics Centurion XVIII program was used, which generated 4 treatments with their respective repetitions. On the other hand, the analysis of variance (ANOVA) was used in the analysis of results and significant differences were determined by Tukey's test for the purpose of using it as food packaging. For the extraction of the starch, the wet method was used, obtaining a yield of 19.99%. On the other hand, in the characterization of the starch, 30.21% of amylose was obtained, obtaining biomaterials of easy molding, film formation and transparency. In the characterization, it was evidenced that an increase in the concentration of glycerin caused an increase in the moisture content, solubility in water and permeability to water vapor. In mechanical tests, the tensile strength and modulus of elasticity were significantly reduced with the increase of glycerin from 6.36MPa to 1.19MPa and from 42.30MPa to 16.43MPa, respectively. On the contrary, the percentage of elongation is reduced from 15% to 8.57% due to thickness variation. According to the results obtained, it was deduced that the best treatment is T1 as the most suitable for food packaging. To improve the properties of the biomaterial, it is recommended to use additional additives such as sorbitol, polyvinyl alcohol, graphene, among others.

Keywords: <CHINESE POTATO (*Colocasia esculenta*)>, <STARCH>, <CHINESE POTATO STARCH BIOMATERIAL>, <MECHANICAL PROPERTIES> <CASTING METHOD>, <WET EXTRACTION>, <BIOPLASTIC>, <AMYLOSE>.



INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos sintéticos ha tenido un gran aumento en estos últimos años debido a sus propiedades como: versatilidad, bajo coste, transparencia, peso ligero, resistencia y su gran durabilidad. Por lo tanto, debido a esa durabilidad que pueden tardar cientos o miles de años en descomponerse. Por ello, surge la producción de polímeros degradables y biodegradables (biomateriales) que se descomponen más rápido en el ambiente ya que los plásticos solo se utilizan una vez y se desechan inmediatamente (Müller et al., 2012, pp.464-467).

Por otro lado, el término bioplástico es usado para referirse a plásticos que son biodegradables y tienen la posibilidad de ser degradables, pero se originan a partir de materiales biológicos o materias primas renovables, como: almidón, celulosa, aceites y grasas vegetales (Tokiwa et al., 2009, p. 3723). El almidón es un polisacárido importante y se lo utiliza como material de partida para una amplia gama de biomateriales verdes (Pilla, 2011, pp. 189-207).

Por consiguiente, la materia prima utilizada es la papa china (Taro) (figura 1-2) que es una planta tropical que se cultiva principalmente como alimento vegetal por su cormo comestible y, en segundo lugar, como verdura de hoja. El taro también recibe el nombre de "oreja de elefante". En la cual las hojas son ricas en vitaminas y minerales y sus cormos tienen un alto contenido de almidón y son una buena fuente de fibra dietética. Además, como dato adicional en el norte de la India se llama "Arbi" (Pilla, 2011, pp. 189-207).

Sin embargo, para superar las deficiencias de la producción del bioplástico, es necesario la adición de plastificantes para mejorar las características y propiedades de las películas a base de almidón. con la finalidad de mejorar la resistencia y disminuir la fragilidad de la película (Lubis et al., 2018, pp.76-80).

Por lo tanto, en este proyecto de investigación busca producir un biomaterial biodegradable aplicando el método casting con las concentraciones óptimas de almidón de papa china y glicerina para el uso de embalaje de alimentos con la finalidad de sustituir el plástico a base de petróleo ya que estos mismos han provocado problemas ambientales contaminado los ríos, mares, tierras y el aire.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Identificación del Problema

En la actualidad, el plástico es un contaminante ambiental muy común que se lo encuentra en todos lados, en lo cual ha favorecido para que la vida cotidiana de los seres humanos sea más cómoda y el problema está relacionado con el carácter no biodegradable. No obstante, el plástico está creciendo significativamente lo que ocasiona destrucción en el planeta tierra y se tiene algunas reseñas como:

Por consiguiente, en Ecuador, se recolectaron aproximadamente 500 toneladas de plástico cuyo material representó un 88% en las jornadas de limpieza ubicadas en las zonas costeras. Por tanto, las botellas de agua simbolizaron un 36%. Esto significa que el plástico es un material muy contaminante a nivel mundial y solo el 10% se recicla y lo demás se va a los océanos de manera residual afectando a los seres vivos (Naranjo, 2019, párr.4-5). Además, los 1.500 millones de fundas plásticas tipo camiseta que se elaboran al año solo 5 de cada 10 son recicladas o reutilizadas. También, las 10 ciudades de Ecuador, entre ellas Quito y Guayaquil, generan el 59,3% del total de residuos sólidos. Asimismo, el 40% del plástico recolectado en la isla Isabela (Galápagos) tuvo su origen en China, 38% fue de Perú y 18% de Ecuador (Naranjo, 2019, párr.17-19).

Por otro lado, en Estados Unidos, Roland Geyer junto a un grupo de científicos de la Universidad de California en Santa Bárbara, hicieron un cálculo estimado de la cantidad de plástico generada en el planeta desde los inicios de su producción industrial en los últimos 65 años fue de 8.300 millones de toneladas. Por ello, más del 70% de la producción total se encuentran destinados a vertederos y océanos alrededor de 6.300 millones de toneladas (BBC, 2017, p.1).

Por tal razón, el problema de la mayoría del plástico es que tienen una vida útil corta y muy desechable en cuanto a su utilidad. Sin embargo, en Inglaterra, el profesor de Biología Marina, Richard Thompson nos menciona que todavía no hay la tecnología suficiente para reciclar todo el plástico que se produce en el mundo (BBC, 2017, p.1).

Siendo así, en la industria de plástico, la Federación Europea “PlasticsEurope” nos indica que la producción mundial pasó de 245 millones de toneladas en 2006 a 348 millones de toneladas en 2017. En China, es el primer país productor de plásticos con una producción mundial de más del 29%, a comparación de hace 10 años que solo representaba el 15%. En el apartado del envasado, Europa representa casi el 40% del consumo de plásticos. Por ello, cinco polímeros representan el 71% del consumo mundial de plásticos que son: el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, el policloruro de vinilo y el tereftalato de polietileno (Estrategias & Negocios, 2018, párr.1-4).

Lamentablemente, el aumento de residuos plásticos desechados ha hecho que varias personas se opongan a estos polímeros. Según un informe de la Real Sociedad de Estadística (Royal Statistical Society) del Reino Unido, solo el 9% del plástico se recicló en 2017, mientras que el 12 % se incineró y el 79 % restante acabó en vertederos y el medio ambiente (Hunt, 2019, p.1).

Por esta razón, los plásticos han causado graves daños a nuestro planeta, por ello, la limitación de los recursos de combustibles fósiles, el impacto en el ambiente y los problemas de eliminación de desechos ocasionados por los mismos son algunas de las principales razones de este cambio hacia los plásticos biodegradables ya que, en los últimos años, la producción de polímeros a partir de recursos renovables ha mostrado un crecimiento significativo (Ashter, 2016, pp.1-17).

1.2. Justificación de la Investigación

En los últimos años, el uso masivo de plásticos petroquímicos se ha convertido en un verdadero problema para la salud y el medio ambiente. Por tanto, el problema está relacionado con el carácter no biodegradable de estos plástico, por ello, se está desarrollando nuevas alternativas como los plásticos biodegradables el cual representan una alternativa a los plásticos petroquímicos (Zounggran et al., 2020, p.1), obteniéndose mayores tasas de degradación en los vertederos (Gironi & Piemonte, 2011, pp.1949-1959).

De modo que, la norma ASTM D6400 define a un polímero biodegradable como “un material que es capaz de descomponerse en CO₂, metano, agua, componentes inorgánicos o biomasa, como resultado de la acción de microorganismos” (Campuzano et al., 2018, párr.5).

De manera que en el campo de los envases biodegradables favorece a más del 50% de los plásticos biodegradables que se consume a nivel mundial. Por ende, esta tendencia está impulsando a la investigación con la finalidad de desarrollar nuevos sistemas biodegradables con mejor rendimiento (Scarfato et al., 2015, pp.1-11).

Por otro lado, la clasificación de los polímeros biodegradables se da según la fuente de su origen, es decir, renovable o petroquímica, o según el método de su producción (Clarival & Halleux, 2005, p.3). Entre los bioplásticos disponibles en la actualidad son el ácido poliláctico (PLA), el almidón y los polihidroxialcanoatos (PHA) son los más interesantes desde el punto de vista comercial porque pueden procesarse con equipos de transformación convencionales (Labeaga, 2018, p.39).

Por lo tanto, el material más utilizado para la producción de los bioplásticos es el almidón. Por consiguiente, los plásticos basados en el almidón aportan una gran contribución en el mercado resaltando las ventajas como: su gran abundancia, bajo coste y renovable (Agustin et al., 2014, pp.2205-2213).

Por tal razón, este proyecto de investigación busca una nueva alternativa para cambiar los plásticos procedentes a base de petróleo por los plásticos biodegradables a partir del almidón de la papa china (*Colocasia esculenta*) con la finalidad de usarlo para el embalaje de alimentos siendo más ecológica e innovadora para preservar el ambiente.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. General

- Realizar la producción de un biomaterial a partir del almidón de la papa china (*Colocasia esculenta*) para el uso de embalaje de alimentos.

1.3.2. Específicos

- Obtener el almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*).
- Caracterizar las propiedades fisicoquímico y organolépticas del almidón de la papa china.
- Elaborar el protocolo para la producción del biomaterial a partir de la extracción del almidón de la papa china.
- Realizar la caracterización y validación del biomaterial para el uso como embalaje de alimentos.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

La industria del plástico remonta a partir de la segunda mitad del siglo XX, cuando Leo Baekeland inventó la baquelita (bakelita) en 1909 el cual fue el primer polímero absolutamente sintético, la baquelita es una resina de fenolformaldehído que está hecha de una mezcla de fenol y el gas formaldehído en presencia de un catalizador obteniéndose una sustancia bituminosa de color marrón oscuro (García, 2009, p.74).

Entonces, en 1976, Imperial Chemical Industries (ICI) de Inglaterra investigó la manera rentable de producir el polihidroxibutirato (PHB) por fermentación bacteriana a partir de materias primas de carbohidratos derivados de la fotosíntesis. Lo cual, a finales de 1980 y principios de 1990, se comercializó la producción del primer bioplástico polihidroxibutirato (PHB) por parte de Chemie Linz en Austria. En secuela, el primer plástico completamente biodegradable denominado BIOPOL se produce en los Estados Unidos, bajo el nombre comercial de PHBV y se vende en Japón, pero la desventaja fue su elevado costo valiendo unas 17 veces más que los petro plásticos (Scott, 2002, pp.237-239).

Antiguamente, a principios del siglo XIX, los bioplásticos solo se usaban para envolver dulces. Por otro lado, los bioplásticos se obtienen a partir de recursos biológicos renovables como plantas, bacterias y algas y que pueden ser degradados por microorganismos como hongos y bacterias presentes en el suelo sin liberar contaminantes. Entonces, la implementación de los bioplásticos tienen la posibilidad de ser una opción para la solución de esta problemática ya que posee muchas ventajas sobre los plásticos convencionales como productos químicos no tóxicos, fáciles de reciclar, disminuyen la utilización de combustibles fósiles, requieren menos cantidad de energía para su producción, en cuanto a su biodegradabilidad es menor y sobre todo es ecológico con el ambiente (Thiruchelvi et al., 2020, p.1).

En la actualidad, es conveniente representar esquemáticamente como se ilustra en la figura 2-2 el origen de cuatro familias que van desde los plásticos convencionales no degradables procedentes de materias primas de origen fósil hasta los bioplásticos biodegradables. En el cual existe una amplia gama de bioplásticos como por ejemplo: PLA, ácido poliláctico; PHA, poli(hidroxialcanoato); PBS, poli(succinato de butileno); almidón, PCL, poli (ϵ -caprolactona); PBAT, poli (butileno adipato-co-tereftalato), entre otros (Ross et al., 2017, pp.631-632).

A continuación, en la tabla 2-1 se ha recopilado datos bibliográficos referente a la obtención de biomaterial (bioplástico) a partir del almidón con característica iguales o similares a los plásticos sintéticos.

Tabla 1-2: Datos bibliográficos sobre la obtención de los bioplásticos a partir del almidón como antecedentes para la investigación

N°	Año	Tipo	Tema de la investigación	Autor/a (es)	Lugar
1	2020	Artículo científico	Bioplastics as better alternative to petro plastic	R. Thiruchelvi, Aryaman Das, Eesani Sikdar	India
2	2019	Tesis	Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa	Juan Sebastian Holguin Cardona	Colombia
3	2019	Tesis	Extracción y análisis comparativo de las características del almidón de malanga (<i>xanthosoma saggitifolium</i>), yuca (<i>manihot esculenta</i>) y papa china (<i>colocasia esculenta</i>)”	Vanessa Natali, Zúñiga Bonilla	Ecuador
4	2019	Tesis	Obtención de biofilm a partir del almidón de Zanahoria Blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) y de Camote (<i>Ipomoea batatas</i>) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo.	Parra Pérez, Joselyne Brigitte	Ecuador
5	2019	Tesis	Extracción y uso de almidón de papa china (<i>Colocasia Esculenta</i>) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados	María José, Songor Loza; Angélica del Cisne, Tenesaca Vergara	Ecuador
6	2019	Tesis	Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascaras de papa para su aplicación industrial.	Guamán Bravo, Jenny Marcela	Ecuador
7	2019	Tesis	Diseño de un proceso industrial para la obtención de almidón a partir de Camote (<i>Ipomoea batatas L.</i>) para su uso alimenticio.	Cuadrado Peñafiel, Edwin Alfredo	Ecuador
8	2018	Tesis	Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (<i>Fragaria x ananassa Duchesne</i>) en base a almidón de papa china (<i>Colocasia esculenta</i> Schott) de la variedad blanca.	Lizbeth Estefanía, Oñate Zúñiga	Ecuador
9	2018	Tesis	Diseño de un proceso para la obtención de almidón a partir de la papa china (<i>Colocasia Esculenta</i>)	Tocagón Bonilla, Robinson Darío	Ecuador
10	2018	Artículo científico	Análisis comparativo de los métodos húmedo y alcalino en la extracción de almidón de semillas de <i>Amaranthus quitensis L.</i>	Juan Carlos González García1	Perú
11	2015	Capítulo de libro	Bioplastics - Biobased plastics as renewable and/or biodegradable alternatives to petroplastics	Maximilian Lackner	Austria
12	2015	Tesis	Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata	Mónica Margarita, Charro Espinosa	Ecuador

13	2014	Tesis	Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (<i>Manihot Esculenta Crantz</i>) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos.	Bach Tatiana Rivera	Cintha Trujillo	Perú
14	2012	Artículo científico	Fitogeografía e industrialización del almidón de pituca	Aldo Morales Orccottoma	Francisco	Perú
15	2007	Artículo científico	Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca	Cobana, Antezana, R	M.;	Bolivia

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Productos agrícolas en el Ecuador

En 2020, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) dispuso a disposición los resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) sobre el uso del suelo (sector rural) en el Ecuador el cual se categorizan en dos: la superficie de labor agropecuaria (con uso agropecuario) el cual fue de 5.2 millones de hectáreas correspondientes a las superficies de cultivos permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales y la superficie sin uso agropecuario el cual fue de 7.3 millones de hectáreas corresponden a la superficie con montes y bosques, paramos, descanso y otros usos (tabla 2-2) (INEC, 2021, pp.1-14).

Tabla 2-2: Categoría de uso del suelo en el Ecuador

Uso del suelo (hectáreas)	2020	Porcentaje
Cultivos Permanentes	1 442 973	11.6
Cultivos Transitorios y Barbecho	822 516	6.6
Descanso	215 014	1.7
Pastos Cultivados	2 067 795	16.6
Pastos Naturales	871 378	7.0
Páramos	249 139	2.0
Montes y Bosques	6 112 324	49.0
Otros Usos	681 476	5.5
Total	1 246 2614	100.0

Realizado por: (INEC, 2021).

En la tabla 3-2 se muestran los datos de superficie por uso agropecuario (hectáreas, ha) en las regiones: sierra, costa y amazonia. Por consiguiente, se puede observar que la región Costa predomina con mayor superficie a comparación de las otras regiones, excepto en la categoría de

pastos naturales ya que la región sierra es superior. Por otro lado, los cultivos permanentes son: la caña de azúcar para azúcar, banano y palma africana. Los cultivos transitorios son: el maíz duro seco, el arroz en cáscara y papa. Por último, los pastos cultivados son: saboya, pasto mixto, pastos gramalote, pasto miel y otros (INEC, 2021, pp.1-14).

Tabla 3-2: Superficie según región, por uso agropecuario (ha)

Regiones	Permanentes	Transitorios y barbecho	Pastos Cultivados	Pastos Naturales
Sierra	252 971	237 711	549 601	571 452
Costa	1 036 446	548 942	1 125 324	245 041
Amazonía	153 556	35 863	392 871	54 885
Total	1 442 973	822 516	2 067 795	871 378

Realizado por: (INEC, 2021).

2.2.1.2. Tubérculo

Un tubérculo es la parte de un tallo subterráneo/raíces que se engruesa almacenando una gran cantidad de sustancias de reserva (RAE, 2022, p.1). Entre los cultivos de raíces y tubérculos se encuentran principalmente la papa (*Solanum tuberosum*), yuca o mandioca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*), ñames (*Dioscorea spp.*), taro (*Colocasia esculenta*) y ocumo (*Xanthosoma sagittifolium*), que ocupan el segundo lugar mundial en área sembrada y volumen de producción con 47.523.000 hectáreas y 556.676.000 toneladas, respectivamente. Los cereales ocupan el primer lugar, tanto en área como en producción con 718.260.000 hectáreas y 1.638.847000 toneladas, respectivamente (Montaldo, 1991, p.13).

2.2.1.3. La papa china (Tubérculo)

La papa china (*Colocasia esculenta L. Schott*) se cultiva ampliamente y es uno de los cultivos de tubérculos comestibles más importantes en las regiones tropicales y subtropicales. El almidón es el componente principal del tubérculo que representa el 70% - 80% de la materia seca y por ello, una de las propiedades únicas del almidón de la papa china es el tamaño de partícula que oscila entre 1 y 5 μm , lo cual, lo convierte en el tamaño de partícula más pequeño entre los tubérculos y almidones de raíz (Pachau et al., 2018, pp.397-405).

2.2.1.4. Componente de la papa china

La papa china es un cultivo de raíces tropical herbáceo, perenne, compuesto por una planta principal y ventosas (figura 1-2). Se cosecha principalmente por su corm (bulbo), que es un tallo subterráneo con almidón (Miyasaka et al., 2003, p.545).

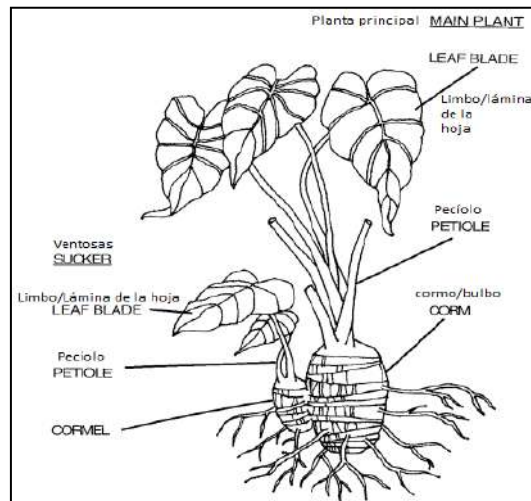


Figura 1-2: Componentes de la papa china

Realizado por: (Miyasaka et al., 2003).

2.2.1.5. Origen y distribución

En la actualidad, la distribución de los cultivos de papa en China (*Colocasia esculenta* L. Schott) se encuentra especialmente en tierras bajas tropicales y regiones cálidas. En Ecuador, se cultiva en llanuras tropicales y las estribaciones exteriores de las cordilleras. Por tal razón, En la Amazonía ecuatoriana, la papa china es de gran importancia seguido de la yuca y el plátano. Además, en la provincia de Pastaza, el III Censo Agrario 2011 de la Agenda de Transformación de la Producción Territorial mencionó que el uso del suelo solo simboliza el 3% de los cultivos permanentes entre ellos la papa china (Escobar et al., 2015, p.18).

2.2.1.6. Clasificación taxonómica

La papa china (Taro) pertenece a la familia de las aráceae comestibles, es una planta monocotiledónea y la especie que se planta de *Colocasia esculenta* comprende dos variedades botánicas: (1) *Colocasia esculenta* (L.) Schott var. *esculenta*, y (2). *Colocasia esculenta* (L.) Schott var. *antiquorum*. La primera (1) tiene un amplio cormo central cilíndrico y unos pocos cormelos pequeños y se conoce agronómicamente como la de tipo taro y la segunda (2) se conoce como el tipo eddoe ya que tiene un pequeño bulbo globular central con varios cormelos (tabla 4-

2). Estos dos géneros presentan caracteres comparables en su morfología y ecología, son plantas rizomatosas con cormos eventualmente ricos en oxalato de calcio (Figueroa et al., 2019, pp.3-4).

Tabla 4-2: Taxonomía de la papa china

<i>Reino:</i>	Plantae
<i>División:</i>	Magnoliophyta
<i>Clase:</i>	Liliopsida
<i>Orden:</i>	Alismatales
<i>Familia:</i>	Araceae
<i>Subfamilia:</i>	Aroideae
<i>Tribu:</i>	Colocasieae
<i>Género:</i>	<i>Colocasia</i>
<i>Especie:</i>	<i>Colocasia esculenta (L.) Schott</i>

Realizado por: (Figueroa et al., 2019).

2.2.1.7. Características fisicoquímicas

Valor nutritivo

La papa china comúnmente conocida como: taro, ocumo chino según el lugar donde se encuentre. Su valor nutritivo más reconocido son sus cormos/bulbos ya que son una fuente directa de carbohidratos a comparación de los cereales u otros cultivos de tubérculos (Caicedo, 2013, p.279). A continuación, se mencionarán algunas tablas sobre las características físico química de la papa china.

Tabla 5-2: Contenido de carbohidratos en la papa china (base seca)

Carbohidrato	Por ciento (%)
Almidón	77.9
Pentosas	2.6
Dextrina	0.5
Azúcares reductores	0.5
Sacarosa	0.1

Realizado por: (Coursey, 1968). & (Oyenuga, 1968).

Tabla 6-2: Composición química de los tubérculos de papa china (base fresca)

Ítem	Por ciento (%)
Humedad	69.1
Cenizas	0.87
Fibra dietética	1.46
Almidón	24.5
Azúcares simples	1.01
Grasa	0.10
Proteína	1.12
Energía, KJ/100 g	480

Realizado por: (Bradbury y Holloway, 1982).

Tabla 7-2: Composición mineral de los tubérculos de papa china (base fresca)

Ítem	mg/100 g
Calcio	24.7
Magnesio	79.6
Sodio	11.1
Potasio	40.8
Zinc	2.13
Hierro	2.33

Realizado por: (McEwan, 2008).

Factores anti nutricionales

Las patatas chinas son fáciles de cultivar y muy resistentes a plagas. Por ello, la limitación para el uso de los tubérculos de papa china como fuente de alimento para los animales es debido a la presencia de factores anti nutricionales como: fitatos, oxalatos, taninos y saponinas (Agwunobi et al., 2002, p.245).

A continuación, En las siguientes tablas se ofrece información sobre el contenido de factores anti nutricionales de la papa china.

Tabla 8-2: Factores anti nutricionales en papa china

Ítems	Valor, mg/100 g
Compuesto químico	
Oxalato total	65
Oxalato soluble	35
Oxalato de calcio	43
Calcio libre	10
Malato	107
Citrato	102
Succinato	168
Inhibidor	
De tripsina	19.7
De quimotripsina	0.5
De amilasa	21.0
Lectinas	246.5

Realizado por: (Bradbury & Holloway, 1982). & (McEwan, 2008).

Tabla 9-2: Contenido de factores anti nutricionales en cormelos de papa china tratados

Factor	Cormelo, mg/100 g MS	
	Cocido	Secado al sol
Fitatos	0.12	0.19
Oxalatos	1.76	3.52
Taninos	0.10	0.14
Saponinas	1.20	2.30

Realizado por: (Agwunobi et al., 2002).

2.2.2. Biomaterial a partir del almidón

El biomaterial que se obtiene en este proyecto de investigación es considerado una película biodegradable (biofilm) a partir la papa china (taro) como materia prima a base de almidón para uso de embalaje de alimentos.

Los bioplásticos tienen propiedades únicas y se pueden fabricar a partir de residuos cultivos y plantas, entre los que se incluyen celulosa, proteínas y almidón (Gonçalves de Moura et al., 2017, párr.1). Además, los bioplásticos a base de almidón se utilizan tanto para materiales de embalaje y la fabricación de utensilios alimentarios como platos, cubiertos, sorbetes, entre otros (Atiweh et al., 2021, p.3).

2.2.2.1. Composiciones del biomaterial

La producción de bioplásticos a partir de almidón requiere tanto un ácido como un agente plastificante, que también pueden derivarse biológicamente para aumentar la sostenibilidad ambiental. Por ende, las opciones más prometedoras para estos reactivos son el ácido acético y la glicerina (Solomonides, 2016, pp.1-5).

Por consiguiente, en determinadas realizaciones, se podría utilizar una fuente de almidón para preparar los tres reactivos necesarios para producir composiciones bioplásticas. El almidón en su forma cruda puede usarse como fuente de monómero y fermentarse para proporcionar tanto el ácido como el plastificante (Solomonides, 2016, pp.1-5).

Las composiciones pueden contener diferentes cantidades de almidón, plastificante y ácido según se requiera para la fabricación del biopolímero con las propiedades físicas deseadas. En la siguiente tabla 10-2 se muestra las diferentes composición posibles respecto con las concentraciones en % en peso de al menos 1 componente de cada uno, es decir al menos 1 almidón, al menos 1 plastificante y al menos 1 ácido (Solomonides, 2016, pp.1-5).

Tabla 10-2: Composición bioplástica

% en peso almidón	% en peso plastificante	% en peso ácido
2-40	30-65	1-10
2-25	40-65	1-10
5-15	45-55	1-5

Realizado por: (Solomonides, 2016).

En este proyecto de investigación, se utilizó 4 componentes para la producción del biomaterial a partir de la papa china que son: el almidón de papa china, la glicerina como plastificante, ácido acético (vinagre comercial), agua destilada.

Almidón

El almidón es un homopolímero de glucosa que forma una cadena α -glucosídica, llamada glucosano o glucano. Está presente en los cereales, papas, legumbres y entre otros, siendo el carbohidrato más significativo. Por otro lado, el almidón está compuesto por amilosa y amilopectina (Murray et al., 2010, pp.117-118).

Las variedades de papa china (Taro) exploradas tienen un tamaño de partícula que varía aproximadamente entre 1 y 6,5 μm de diámetro (Wang & Higa, 1983, p.302). La presencia de almidón se da cuando las moléculas de yodo pueden encajar dentro de la hélice para formar un complejo de almidón-yodo, que tiene un característico color azul oscuro (Campbell & Farrell, 2012, p.470).

Componentes del almidón

El almidón es considerado la principal fuente de carbohidratos en plantas (tubérculos) y está compuesto por una mezcla de dos polisacáridos: el primero es la amilosa básicamente lineal y el segundo es la amilopectina altamente ramificada que contienen generalmente del 10% a 20% de amilosa y 80% a 90% de amilopectina. Las moléculas de amilosa constan de 200 a 20 000 unidades de glucosa que forman una hélice como resultado de los ángulos de enlace entre las unidades de glucosa. En cambio, la molécula de amilopectina se diferencia de la amilosa en siendo muy ramificada. Se adjuntan cadenas laterales cortas de aproximadamente 20-30 unidades de glucosa (Ray & Bousmina, 2005, p.988).

La amilosa es una α -D-(1,4)-glucana y la amilopectina tiene enlaces α -D-(1,6)-glucana (figura 2-2) (Salvador, 2006, pp.81-83). En la tabla 11-2 se muestra las características de los almidones de algunos productos que se usan en la industria alimentaria.

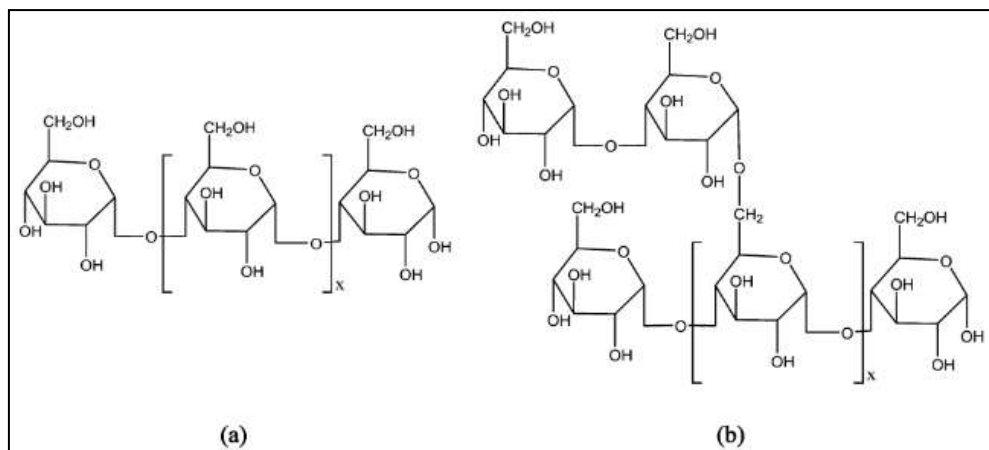


Figura 2-2: Estructura de los polímeros de almidón (a) amilosa y (b) amilopectina

Realizado por: (Mekonnen et al., 2013).

Tabla 11-2: Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria

Tipo	<i>Amilopectina</i> (%)	<i>Amilosa</i> (%)	<i>Temperatura de gelatinización (*C)</i>	<i>Tamaño del gránulo</i> (micras)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Realizado por: (Salvador, 2006).

La funcionalidad del almidón

La funcionalidad del almidón está relacionada principalmente con sus propiedades de gelatinización, retrogradación y propiedades de pegado. Lo cual varía en función de la fuente botánica, la estructura fina de la amilopectina y la relación amilosa/amilopectina (Yildiz, 2010, pp.34-35).

Gelatinización

La gelatinización es la hinchazón irreversible de los gránulos de almidón en un exceso de agua caliente. La gelatinización implica la plastificación de las láminas amorfas y cristalinas por el agua y el calor (Yildiz, 2010, pp.34-35). La temperatura a la que esto ocurre se denomina temperatura de gelatinización y depende de la fuente de almidón (Melton et al., 2019, pp.260-261).

Retrogradación/pegado

Si se aplica una fuerza de cizallamiento a los gránulos de almidón gelatinizados, éstos se rompen y se forma una pasta. La pasta de almidón es una masa viscosa que consiste en una fase continua de moléculas de amilosa solubilizadas y enredadas y una fase discontinua de restos de gránulos (Yildiz, 2010, pp.34-35). Tras el almacenamiento de un gel o una suspensión de almidón gelatinizado, los polímeros de almidón se asocian más estrechamente en función del tiempo. La reasociación y recristalización de la amilopectina se denomina retrogradación. Por lo tanto, sólo la amilopectina puede recristalizar, ya que la amilosa no se presenta en forma cristalina en los gránulos de almidón. Además, el término retrogradación significa "volver atrás" (Melton et al., 2019, pp.260-261).

El reactivo de lugol para el reconocimiento de almidón

La preparación de la disolución de Lugol consiste en la mezcla de 5g de yodo molecular (I_2) y 10g de yoduro de potasio (KI) diluidos con 85 mL de agua destilada. El reactivo de Lugol se utiliza para identificar la presencia de almidón ocasionando una coloración azul intensa, coloración que desaparece al calentar, pero vuelve a aparecer cuando se enfría (Sánchez et al., 2013, pp. 31-36).

Para identificar la presencia de almidón de la papa china se pesó 1g de la muestra (almidón) en un tubo de ensayo añadiendo 5mL de agua destilada y finalmente, se colocó 2 gotas de Lugol y se agitó, como se muestra en la figura 3-2.



Figura 3-2: Prueba de Lugol en el almidón de la papa china

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Glicerina

Los plastificantes interactúan en los gránulos de almidón provocando la destrucción de los enlaces de hidrógeno dentro del almidón eliminando las interacciones almidón-almidón dando como resultado la sustitución de las interacciones almidón-plastificante (Mekonnen et al., 2013, pp.13379-13398).

El glicerol, es el plastificante más utilizado en la preparación de películas de almidón mejorando la flexibilidad de la película. Por otro lado, el glicerol es higroscópico y tiene la gran capacidad de retención de agua (Lim et al., 2020, pp.1-7). En este proyecto de investigación se usó la glicerina al 99.7% (glycerol content USP).

Ácido acético (Vinagre)

El vinagre es esencialmente una solución diluida de ácido acético en agua. El vinagre de mesa suele tener un pH de 2,7-3,2 y contienen entre un 4 y un 5% de ácido acético (Adams, 2014, pp.717-721). La función del ácido acético en concentraciones más bajas actúa como disolvente

aumentando las propiedades mecánicas de los bioplásticos. Por el contrario, el ácido acético en concentraciones altas los bioplásticos obtienen una estructura frágil debido al excesivo grupos -OH (Abdolrahimi et al., 2018, pp.221-230). En este proyecto de investigación se usó el vinagre blanco comercial.

Agua

Para la elaboración de la película a partir de almidón se usa el método casting el cual considera al agua como un portador de solución de la gelatinización del almidón y en el proceso de elaboración de la película el agua se pierde durante el calentamiento evaporándose con la finalidad de formar una película fina (Gao et al., 2021, pp.1-10).

2.2.2.2. Bioplásticos para el envasado de alimentos

En la última década, varios bioplásticos de base biológica, biodegradables, o ambos, han estado disponibles como una alternativa adecuada a los plásticos convencionales para aplicaciones de envasado de alimentos. Al menos el 90% de los polímeros biodegradables naturales o sintéticos se descomponen en menos de 180 días. La figura 4-2 muestra los principales polímeros de uso potencial en el envasado de alimentos. El almidón es un polímero prometedor, apto para ser procesado mediante diferentes técnicas, como el método casting, el moldeo por compresión, la extrusión o el moldeo por inyección (Gutiérrez, 2018, pp.61-66). Los biopolímeros pueden utilizarse para aplicaciones de envasado o recubrimiento de alimentos, reduciendo el impacto ambiental y la dependencia del petróleo (Gutiérrez, 2018, pp.61-66).

2.2.2.3. Clasificación de los materiales plásticos

Se clasifican según su contenido de base biológica y su biodegradabilidad. El sistema de coordenadas se subdivide en cuatro cuadrantes: de base biológica, biodegradables, de base fósil y no biodegradable (figura 4-2). Cada cuadrante representa un grupo de bioplásticos que se clasifican de la siguiente manera (Ashter, 2016, pp.3-84). Por tanto, 3 de los grupos pueden clasificarse como bioplásticos (Ross et al., 2017, pp.631-632).

- **Grupo 1:** Bioplásticos de base biológica o parcialmente biológica no biodegradables como el PE, PET, PA y PTT de base biológica.
- **Grupo 2:** Bioplásticos de base biológica y biodegradables como el PLA, el PHA, el PBS y las mezclas de almidón.

- **Grupo 3:** Bioplásticos de base fósil y no biodegradables, como el PE, el PP y el PET convencionales.
- **Grupo 4:** Bioplásticos de origen fósil y biodegradables, como el PBAT y el PCL (Ashter, 2016, pp.3-84).

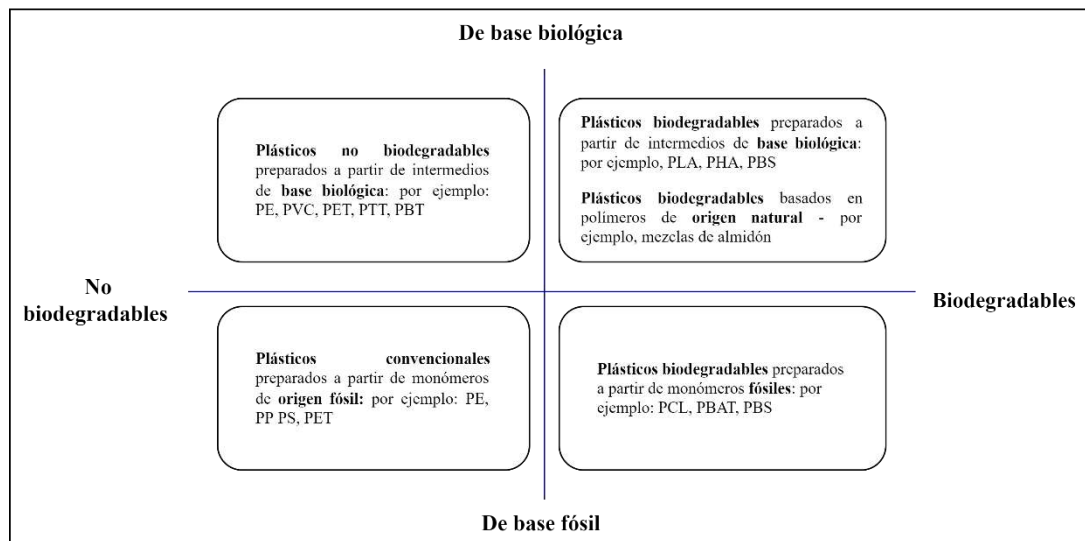


Figura 4-2: Clasificación de los plásticos

Realizado por: (Ross et al., 2017).

2.2.2.4. Clasificación de los principales polímeros biodegradables

Los polímeros biodegradables se clasifican en 2 tipos: los agropolímeros y los biopoliésteres. Los agropolímeros se subdividen en: polisacáridos y proteínas/ligninas. En cambio, los biopoliésteres se subdividen a partir de: microorganismos, biotecnología y productos petroquímicos (Ashter, 2016, pp.3-84). En la figura 5-2 se detallan de mejor manera la clasificación de los polímeros biodegradables.

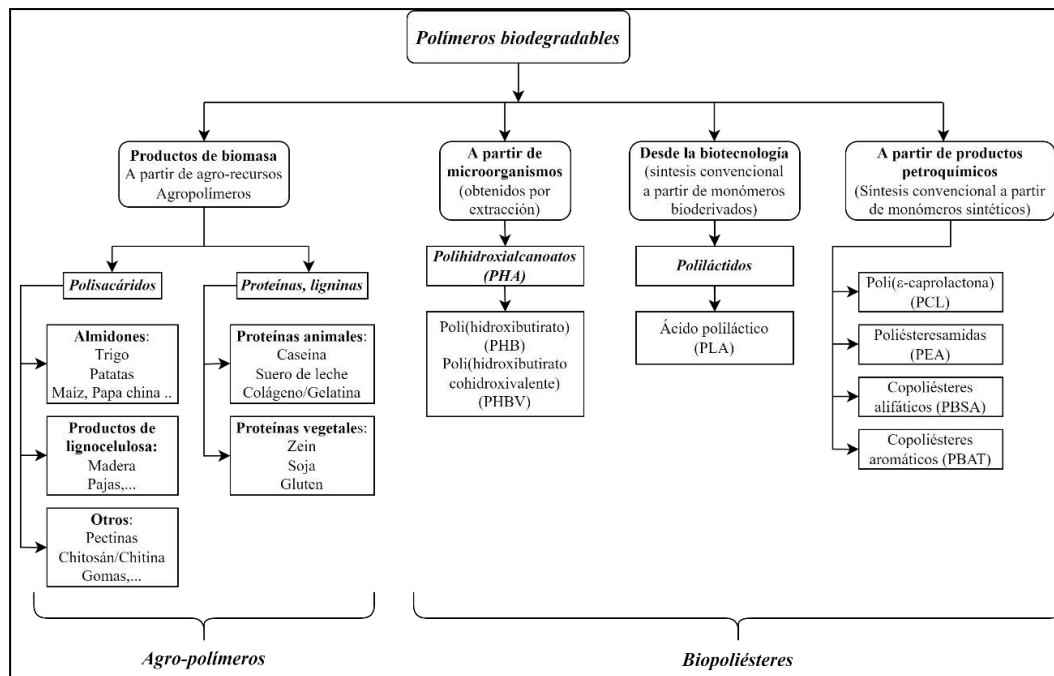


Figura 5-2: Clasificación de los polímeros biodegradables

Realizado por: (Ashter, 2016).

2.2.2.5. Diferencias entre bioplásticos y petroplásticos

Bioplásticos

- Procede de recursos vegetales renovables.
- No contiene toxinas ni otros compuestos nocivos.
- La producción de este bioplástico produce mucha menos emisión de gases de efecto invernadero en comparación con el plástico a base de petróleo (68%).
- Este plástico a base de almidón es favorable para el compostaje industrial (Saha et al., 2020, p.204).

Petroplásticos

- No son renovables.
- Impactos en la salud.
- Generalmente no es biodegradable y tiene efectos devastadores en la vida del océano.
- La demanda y la producción se disparan.
- La industria de los plásticos apoya más la perforación (Ashter, 2016, pp.3-84).

2.2.2.6. *Propiedades de los bioplásticos a base de almidón*

Propiedades del bioplástico

- Tiene barrera a los gases: Se debe conservar la calidad de los alimentos durante el almacenamiento (Ashok et al., 2016, p.4).
- Es biocompatible: En el área médica específicamente en un dispositivo que determinan la compatibilidad del material dentro del cuerpo: la biofuncionalidad y la biocompatibilidad (Marques et al., 2002. p.6).
- No es termoestable.
- Es elástico.
- Es rígido.
- No es hidrofóbico.
- Es termoplástico
- Degradable: En el suelo, en compost y en el agua (Karan et al., 2019, pp.237-249).

Usos del bioplástico

- Películas sopladas (sacos, bolsas de basura, películas de burbujas de aire).
- Láminas planas (embalaje de alimentos, bandejas de alimentos, macetas).
- Inyección moldeada (desechables, cubiertos. latas, envases) (Lörcks, 1998, p.247).

2.2.2.7. *Método casting para la elaboración del biomaterial*

El método casting (colada) ha sido utilizado en la mayoría de las investigaciones sobre films basadas en almidones y proteínas (De Moraes et al., 2013, pp.800-808). La aplicación de este método consiste en extender una solución o suspensión formadora de película sobre pequeñas placas por ejemplo las placas Petri de vidrio, en cambio, el espesor de la película se controla mediante la masa de suspensión vertida sobre la placa (Scheibe et al., 2014, pp.482-492).

Por otro lado, en el proceso de secado de estas películas se puede realizar a temperatura ambiente o en una estufa con circulación de aire a temperaturas de 30-40°C (De Moraes et al., 2013, pp.800-808; Müller et al., 2009, pp.1328-1333).

El método de colada se utiliza regularmente para elaborar películas a escala de laboratorio (Espitia et al., 2014, pp.287-296). Sin embargo, este método presenta dos desventajas: su tiempo largo de secado y la dificultad de su producción a escala industrial (De Moraes et al., 2013, pp.800-808).

2.3. Planteamiento de las hipótesis

2.3.1. General

- El biomaterial obtenido a partir de la extracción de almidón de la papa china (*Colocasia esculenta*) se puede convertir en una opción más ecológica con el ambiente reemplazando así a los materiales plásticos derivados del petróleo.

2.3.2. Específicas

- El almidón se puede extraer de la papa china (*Colocasia esculenta*) mediante el proceso de la extracción por vía húmeda.
- La caracterización de las propiedades físicas-químicas del proceso de extracción del almidón presentan propiedades de calidad dentro de los parámetros establecidos lo que lo hace apta para la obtención de almidón y posteriormente utilizarla para la producción de un biomaterial ecológico.
- La elaboración del protocolo es muy eficaz y factible para la producción del biomaterial a partir de la extracción del almidón de la papa china con la utilización del método casting para determinar concentraciones óptimas de los reactivos y así establecer las condiciones apropiadas para el proceso.
- La caracterización del biomaterial obtenido a partir de la papa china presenta características de calidad para el uso de embalaje en alimentos. que son validadas por las normas ASTM D882 y ASTM D1653-93.

2.4. Identificación de variables

Tabla 12-2: Identificación de variables

Nº	Items	Operaciones unitarias	Variables dependientes	Variables independientes
1	Obtención del almidón	Filtración	Medio filtrante. Masa del sólido.	Tiempo
		Sedimentación	Partículas sólidas. Velocidad de sedimentación.	Tiempo
		Secado	Humedad. Masa del sólido. Velocidad de secado.	Temperatura Tiempo
		Molienda	Masa del sólido.	Tiempo
		Tamizado	Tamaño del diámetro de la partícula sólida.	Luz de malla Tiempo
2	Obtención del biomaterial	Agitación/Mezclado	Masa de la mezcla. Humedad.	Temperatura Tiempo
		Secado	Masa del biomaterial. Velocidad de secado.	Temperatura Tiempo

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

2.5. Operacionalización de Variables

Tabla 13-2: Operacionalidad de variables

CATEGORÍA	CONCEPTO	DIMENSIONES	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICE
Producción de un biomaterial a partir del almidón de la papa china (<i>Colocasia esculenta</i>)	Biomaterial se denominan a plásticos biodegradables procedentes de materia prima orgánica.	Obtención del almidón a partir de la papa china	Rendimiento	%	Gravimetría
			Temperatura	°C	
			Tiempo de secado	h	
		Caracterización de las propiedades fisicoquímico y organolépticas del almidón de la papa china.	pH	-	Métodos físicos
			Solubilidad	-	
			Ceniza	%	
	Humedad y materia seca		%		
	Temperatura de Gelatinización		°C		
	Densidad aparente		g/mL		
	Elaboración del protocolo para la producción del biomaterial a partir de la extracción de la papa china	Elaboración del protocolo para la producción del biomaterial a partir de la extracción de la papa china	Composición de los reactivos	%p/p	Método casting
			Temperatura	°C	
			Tiempo de secado	min	
Espesor			mm		
Propiedades de tracción			MPa		
Permeabilidad al vapor			g/mhMPa		
Realizar la caracterización y validación del biomaterial para el uso como embalaje de alimentos.	Realizar la caracterización y validación del biomaterial para el uso como embalaje de alimentos.	Humedad y solubilidad en agua	%	ASTM D1653-93	
		Biodegradabilidad	%	Métodos físicos	

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

2.6. Matriz de Consistencia

Tabla 14-2: Matriz de Consistencia

ASPECTOS GENERALES				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		OBJETIVOS	HIPÓTESIS	
Actualmente, la utilización de los plásticos derivados del petróleo produce un significativo cambio en la contaminación, por ello, existen algunas alternativas para mejorar dicho problema y uno de esos es la sustitución de los plásticos por biomateriales degradables amigables con el ambiente.		Realizar la producción de un biomaterial a partir del almidón de la papa china (<i>Colocasia esculenta</i>) para el uso de embalaje de alimentos.	El biomaterial obtenido a partir de la extracción de almidón de la papa china (<i>Colocasia esculenta</i>) se puede convertir en una opción más ecológica con el ambiente reemplazando así a los plásticos derivados del petróleo.	
Específicos	Específicos	Específicas	Variables	Técnicas
¿El método para la extracción de almidón de materias primas seleccionadas será viable?	Obtener el almidón a partir de la papa china (<i>Colocasia esculenta</i>).	El almidón se puede extraer de la papa china (<i>Colocasia esculenta</i>) mediante el proceso de la extracción por vía húmeda.	Temperatura Tiempo Humedad Rendimiento	Orccottoma, 2012 Método de vía húmeda
¿El almidón cumple con los parámetros especificados en la norma?	Caracterizar las propiedades fisicoquímico y organolépticas del almidón de la papa china.	La caracterización de las propiedades físicas-químicas del proceso de extracción del almidón presentan propiedades de calidad dentro de los parámetros establecidos lo que lo hace apta para la obtención de almidón y posteriormente utilizarla para la producción de	Análisis de materia seca y humedad. Análisis de ceniza. Análisis de Fibra cruda Proteína, grasa Análisis Microbiológicos. Análisis de Solubilidad. Análisis de pH. Análisis de Amilosa. Análisis de viscosidad de	NTE INEN-ISO 1666 Thiex et al., 2012, Método gravimétrico de digestión Método de Kjeldahl NTE INEN 523 Siembra en masa. NTE INEN 1456, 1986 ISI 26-5e, 1999

		un biomaterial ecológico.	Brookfield Análisis de temperatura de gelatinización. Análisis de Capacidad de Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento	Morrison y Laignelet, 1983 ISI 17, 2002 Grace, 1997 Anderson et al., 1970
¿Qué condiciones de operación son las adecuadas para la obtención de biomaterial?	Elaborar el protocolo para la producción del biomaterial a partir de la extracción del almidón de la papa china.	La elaboración del protocolo es muy eficaz y factible para la producción del biomaterial a partir de la extracción del almidón de la papa china con la utilización del método casting para determinar concentraciones óptimas de los reactivos y así establecer las condiciones apropiadas para el proceso.	Composición de los reactivos. Temperatura Tiempo de secado	Meza et al., 2019 Método casting

¿El biomaterial obtenido presenta características de calidad para su uso como embalaje de alimentos?

Realizar la caracterización y validación del biomaterial para el uso como embalaje de alimentos.

La caracterización del biomaterial obtenido a partir de la papa china presenta características de calidad para el uso de embalaje en alimentos. que son validadas por las normas ASTM D882 y ASTM D1653-93.

Espesor
Humedad
Análisis de espectroscopia de infrarrojos
Solubilidad en agua
Trasmisión de vapor de agua y permeabilidad de vapor de agua
Biodegradabilidad
Propiedades de tracción.

Escobar et al., 2011
Gontard et al., 1994
ASTM D1653-93,
1999
ASTM D882

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

2.7. Tipo y Diseño de Investigación

2.7.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental dado que el tema seleccionado busca explorar el uso del almidón de la papa china para la producción de un biomaterial siendo esto una tecnología verde para la aplicación de embalajes de alimentos desde de punto de vista ecológico con el ambiente.

2.7.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es de tipo experimental ya que interviene la manipulación de variables en el proceso con la finalidad de determinar la composición óptima del biomaterial obtenido a partir del almidón de papa china. De acuerdo con Ferré (2002, p.1), nos menciona que el diseño factorial completo 2^k se usa cuando “el objetivo es medir cómo influyen k factores en un proceso y descubrir si interaccionan entre ellos, por tanto, es la estrategia experimental óptima”.

En este tipo de proyecto de investigación se optó en utilizar como metodología al diseño factorial más simple de la familia 2^k que es el diseño factorial 2^2 el cual estudia el efecto de dos factores considerando dos niveles en cada uno que son la glicerina y el almidón representados por el nivel bajo (-) y el nivel alto (+) usando una temperatura de 85C para el baño maría (tabla 15-2). Cada réplica de este diseño consiste en $2 \times 2 = 4$ combinaciones o tratamientos (Gutiérrez & de la Vara Salazar, 2008, pp.168-169).

Por tanto, para determinar las combinaciones de los factores se empleó el programa Statgraphics Centurion XVIII que generó 4 tratamientos (T_n) y sus respectivas repeticiones.

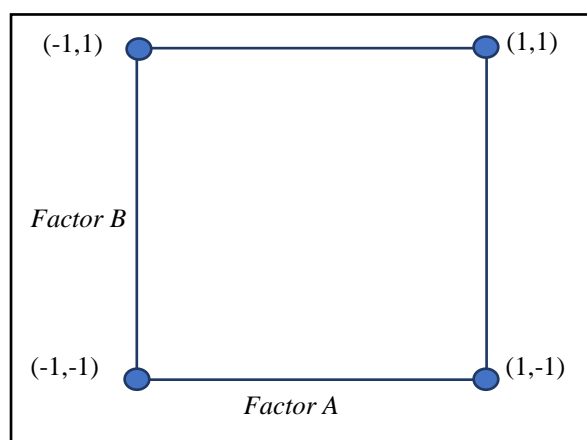


Figura 6-2: Representación del diseño factorial 2^2

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En la figura 6-2 es la representación geométrica del diseño factorial 2^2 en la que cada vértice del cuadrado representa un punto de diseño o tratamiento. El área limitada del cuadrado se conoce como región experimental y, en principio, las conclusiones que se obtengan del experimento sólo tienen validez sobre esta zona (Gutiérrez & de la Vara Salazar, 2008, pp.168-169).

Tabla 15-2: Factores y niveles del diseño de experimento

Descripción	Factores	Niveles	
		Bajo (-)	Alto (+)
Variables	Almidón (g)	2.3	2.7
	Glicerina (mL)	0.9	1.2

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 16-2: Matriz de diseño de experimentos factorial 2^2

Tratamientos	Variables		Constantes		
	Almidón (g)	Glicerina (mL)	Ácido acético (mL)	Agua (mL)	Temperatura (°C)
T1	2.3	0.9			
T2	2.3	1.2	2	30	85
T3	2.7	0.9			
T4	2.7	1.2			

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

2.8. Unidad de Análisis

En la unidad de análisis el objeto de estudio es la papa china (materia prima) ya que se tiene por objetivo la producción de un biomaterial a partir del almidón para lo cual se utilizará el método casting para la producción de un biomaterial con propiedades óptimas para el uso de embalaje de alimentos.

2.9. Población de Estudio

La población de estudio corresponde al muestreo de la papa china (*Colocasia esculenta*) comprada en el mercado mayorista de la ciudad de Riobamba que ha sido cosechada en la ciudad del Puyo de la provincia de Pastaza.

2.10. Tamaño de Muestra

En el tamaño de muestra de la papa china se realizó un muestreo por conveniencia (no probabilístico) recolectando un peso 10kg con la finalidad de escoger aquellas que estén en buen estado para la producción del biomaterial.

2.11. Selección de muestra

En la selección de muestra de la papa china (malanga) se toma en consideración las principales características que son: madurez, libre de manchas y tamaño de mediano a grande. Las muestras con las que se obtendrá el biomaterial son obtenidas a partir de 4 tratamientos con 16 repeticiones con la finalidad de obtener la mejor composición con propiedades favorables.

2.12. Técnicas de Recolección de Datos

Tabla 17-2: Extracción del Almidón por el método de vía húmeda

Análisis	Materiales y equipos	Reactivos	Procedimiento	Ecuación/Fórmula	Método o Ensayo	
Método de vía húmeda	Probeta (500mL) Cuchillo, Espátula Vidrio de reloj Cronómetro, Tamiz Vasos de plásticos (500mL) Bandejas de aluminio Tela filtrante, Guantes de nitrilo Fundas Ziploc, Jeringa (60mL) Mortero y pistilo. Balanza analítica Licuadora (Oster) Estufa	Agua Papa china (materia prima) Metabisulfito de sodio (10% p/p) Agua destilada	Para la extracción del almidón de papa china mediante el método de vía húmeda se basó en la metodología (Orccottoma, 2012, pp.107-112), con ciertas modificaciones, el procedimiento se inicia con la selección de la materia prima, luego se pesó 100g de papa china, previamente lavadas, peladas y cortadas en cubos pequeños aproximadamente de 2-3cm para facilitar el trabajo de molienda. Después, se dejó sumergido en agua con una solución del 10% en peso con metabisulfito de sodio por aproximadamente 30 min. Una vez transcurrido el tiempo se retira los cubos de papa china de la solución de metabisulfito de sodio (evita el pardeamiento enzimático y el crecimiento microbiano) y con la ayuda de la licuadora (marca Osterizer Blender) se licua con agua destilada (en relación 1:2.5, es decir, por cada 100g de materia prima licuar con 250mL de agua destilada). Luego, se filtra el licuado con una tela filtrante especial. El filtrado se dejó decantar por 24	<p>Ecuación 1-2:</p> Rendimiento del almidón	$\%R = \frac{m_1}{m_2} * 100$ Donde: m_1 = Masa del almidón obtenido (g). m_2 = Masa inicial de la pulpa del tubérculo.	(Orccottoma, 2012, pp.107-112)

			<p>horas en recipientes plásticos de 500mL, luego se retiró el sobrenadante con la ayuda de una jeringa de 60mL con la finalidad de obtener el almidón. El almidón húmedo se introdujo en bandejas de aluminio y se secó en la estufa (marca ESCO Isotherm) a una temperatura de 60 °C hasta obtener un peso constante (pesar cada 30min) o también secado al ambiente. Posteriormente, se pesa el almidón seco y con la ayuda de un mortero y pistilo moler hasta reducir hasta una granulometría de 53 μm. Finalmente, se almacena en recipientes herméticos (fundas ziploc) a temperatura de ambiente. La figura 7-2 muestra el diagrama de bloques de la extracción de almidón de papa china por la vía húmeda.</p>		
--	--	--	---	--	--

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

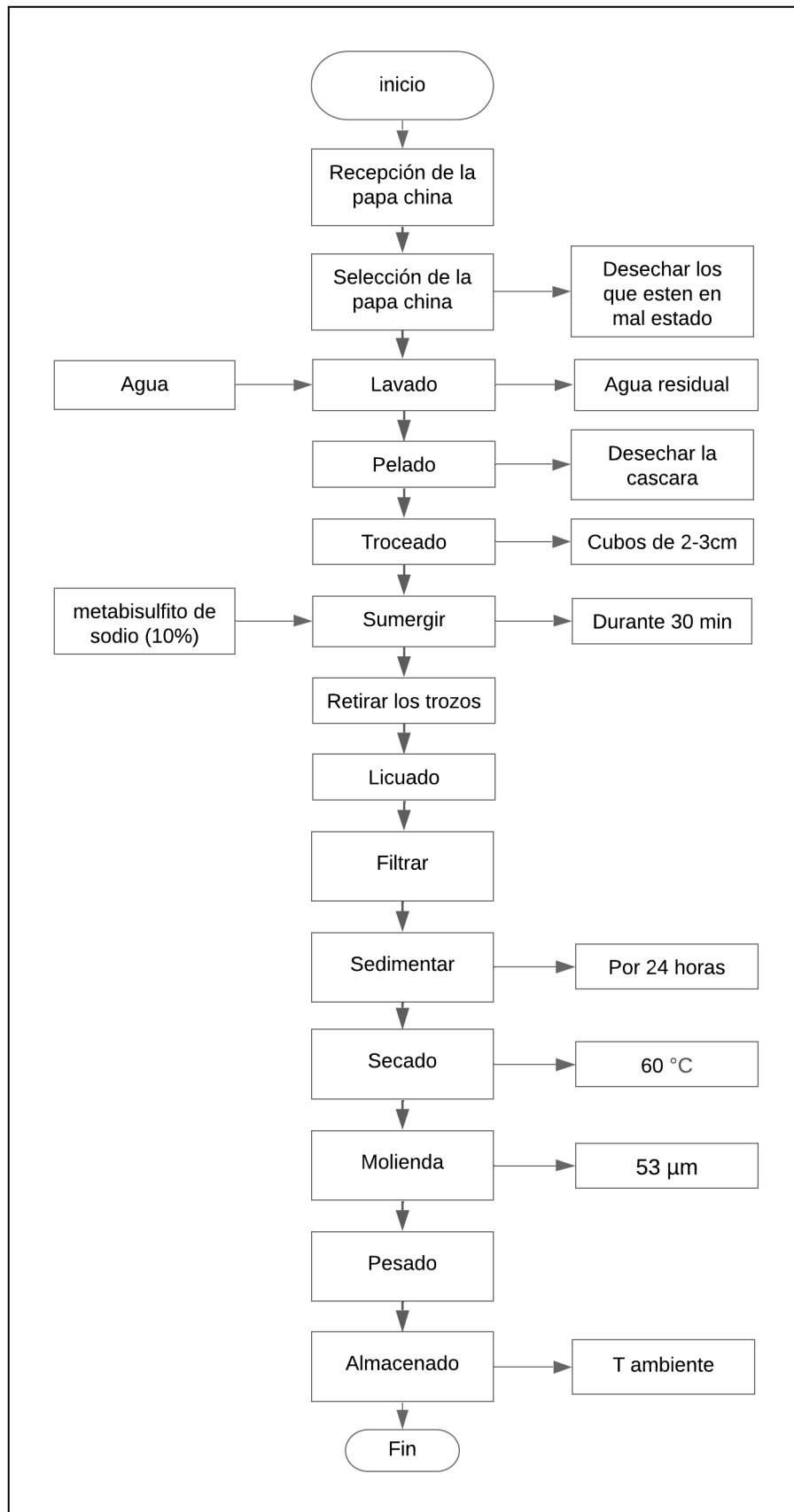


Gráfico 1-2: Diagrama de bloques de la extracción de almidón (vía húmeda)

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 18-2: Caracterización fisicoquímica, organolépticas, microbiológicas y funcionales del almidón de papa china

Análisis	Materiales y equipos	Reactivos	Procedimiento	Ecuación/Fórmula	Método o Ensayo
Características organolépticas	-	Almidón de papa china.	En este análisis se enfoca en las 4 características organolépticas que son el color, sabor, olor y textura en el almidón y la papa china (materia prima) que se perciben mediante los sentidos que son el gusto, vista, olfato y tacto.	Directa	-
Materia seca y humedad	Capsulas Desecador Estufa Balanza analítica	Almidón de papa china.	En el análisis del porcentaje de humedad (%) se realizó por triplicado y se basó en la norma NTE INEN-ISO 1666, el procedimiento se inicia con el pesaje de las capsulas vacías previamente lavadas y secadas a 130 °C por una hora y media, y dejarlos enfriar en un desecador (a). Luego, pesar 5 g de muestra con la capsula vacía (b). posteriormente, poner la capsula en la estufa a una temperatura entre 130 °C - 133 ° C durante una hora y media. Después, dejar enfriar en el desecador con peso constante aproximadamente 40min. Finalmente, pesar las capsulas con la muestra de almidón seca (c). El %H se calcula mediante la siguiente ecuación 2-2 (NTE INEN-ISO 1666, 2014, p.5).	<p>Ecuación 2-2: Porcentaje de humedad</p> $\% H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$ <p>Donde: %H= Porcentaje de humedad. P₁= La masa de la muestra inicial (b-a). P₂= La masa de la muestra final seca (c-a).</p> <p>Ecuación 3-2: Porcentaje de materia seca</p> <p>% materia seca =100-%H</p>	(NTE INEN-ISO 1666, 2014, p.5).

				Donde: %H= porcentaje de humedad.	
Ceniza	Crisol Desecador Estufa Balanza analítica	Almidón de papa china.	En el análisis del porcentaje de ceniza (% Ceniza) se realizó por triplicado y se basó en la norma AOAC 942.05. El procedimiento inicio con el pesaje de 1 g de muestra en el crisol de porcelana (previamente lavado, secado y pesado). Luego, colocar el crisol con la muestra en la mufla a una temperatura de 550 °C durante tres horas. Después, Después, dejar enfriar en el desecador con peso constante aproximadamente 1 hora. Finalmente, pesar las cenizas con el crisol (las cenizas no deben estar negras, y si lo están poner en la mufla) y calcular la el %ceniza con la ecuación 4.2 (Thiex et al., 2012, pp.1392-1397).	Ecuación 4-2: Porcentaje de humedad $\% \text{ Ceniza} = \frac{P_{\text{ceniza}}}{P_{\text{muestra}}} * 100$	AOAC 942.05
Fibra cruda, proteína, grasa y microbiológicos.	-	Almidón de papa china.	Estos análisis se realizaron en el laboratorio de servicios analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos ubicado en Riobamba. En el análisis microbiológico se realizó por siembra en masa.	-	Método gravimétrico de digestión acida/básica, método de Kjeldahl y NTE INEN 523.

Solubilidad	Vasos de precipitación. Reverbero.	Almidón de papa china. Agua destilada.	En el análisis de solubilidad se realizó por triplicado y se basó en la norma NTE INEN 1456, el procedimiento inicio con una suspensión de 2 g de muestra con 5 mL de agua fría en un vaso de precipitación de 25 mL y se procedió a agitar. Luego, se trasladó la suspensión a un vaso de 200mL con 100ml de agua hirviendo y se continuo con la respectiva ebullición por 2 minutos. (NTE INEN 1456, 1986, pp.1-2).		(NTE INEN 1456, 1986, pp.1-2).
pH	Vasos de precipitación. Papel filtro. pH metro. Reverbero.	Almidón de papa china. Agua destilada.	En el análisis de pH se realizó por triplicado, el procedimiento inicio calibrando el pH metro con las soluciones tampón de 4.0 y 7.0 a 25°C. Para la preparación de la muestra se mezcló 5 g de almidón con 25 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO ₂). finalmente se filtró la muestra con papel filtro. Para la respectiva lectura, lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel absorbente. Anotar el pH directo del equipo (ISI 26-5e, 1999, p.1).	Directa	(ISI 26-5e, 1999, p.1).
Densidad aparente	Probetas. Varillas de agitación. Balanza analítica.	Almidón de papa china.	En este análisis se realizó con la densidad aparente del almidón empacado por triplicado, el procedimiento inicio con el pesaje de las probetas de 10mL y 25mL, después se sostiene la probeta adicionando el almidón con la ayuda de una varilla de agitación empujando hasta que el volumen ocupado sea el valor mínimo y finalmente se	Ecuación 5-2: Densidad aparente $\delta_{\text{aparente}} = (\text{masa probeta vacía} + \text{almidón empacado (g)}) - \text{masa probeta vacía (g)} /$	(Aristizábal & Sánchez, 2007, p.65).

			pesa el almidón con la probeta (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.65).	(Volumen probeta (mL))	
Densidad real	Picnómetro. Balanza analítica. Termómetro.	Almidón de papa china. Agua destilada.	En este análisis se realizó por triplicado con la ayuda de un picnómetro, el procedimiento inicio limpiando y tarando el picnómetro. Después, se pesó el picnómetro aforándolo con agua (m_1). Después, pesar el picnómetro vaciando la mitad del agua (m_2). A continuación, añadir el sólido que se desea medir y pesar (m_3). Finalmente, se debe aforar el picnómetro con agua eliminando la formación (M_4). Se debe medir la temperatura del agua y buscar en tablas su respectiva densidad (Cromtek, 2020, p.1).	Ecuación 6-2: Densidad real $\delta_{real} = \frac{m_3 - m_2}{(m_3 - m_2) - (m_4 - m_1) \delta_{T_{agua_{medición}}}}$	(Cromtek, 2020, p.1).
Amilosa	-	Almidón de papa china.	Se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en el laboratorio de servicio y análisis de investigación de alimentos, departamento de nutrición y calidad de la Estación Experimental de Santa Catalina ubicado en la panamericana sur km 1, sector Cutuglagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha.	-	método Morrison y Laignelet 1983.
Viscosidad de Brookfield	Vasos de precipitación. Termómetro. Reverbero.	Almidón de papa china. Agua destilada.	En el análisis de viscosidad (cP) se realizó por triplicado. El procedimiento comenzó pesando 25 g de almidón en base seca, disolver en agua destilada y hasta completar a 500 mL. Después, colocar la suspensión en el reverbero con constante agitación hasta la ebullición aproximadamente 20 min. Posteriormente, dejar enfriar	Directa	(ISI 17, 2002, p.1).

	Viscosímetro de Brookfield.		el gel a una temperatura de 25 °C y finalmente, medir la viscosidad a 25 °C directamente en el viscosímetro de Brookfield, con la aguja número 3 (ISI 17, 2002, p.1).		
Temperatura de gelatinización	Vasos de precipitación. Termómetro. Reverbero.	Almidón de papa china. Agua destilada.	En el análisis de la temperatura de gelatinización (°C) se realizó por triplicado. El procedimiento comenzó disolviendo 10 g de almidón (base seca) con agua destilada en un vaso de precipitación hasta completar 100 mL hasta que quede una mezcla homogénea. Después, tomar 50 mL de la solución en un vaso de precipitación de 100 mL. Luego, introducir el vaso de precipitación con la muestra a baño maría a una temperatura de 85 °C y con la ayuda del termómetro agitar constantemente hasta que se forme una pasta viscosa y la temperatura debe permanecer estable por unos segundos. Finalmente, anote dicha temperatura (Grace, 1997, pp.61-91).	Directa	(Grace, 1997, pp.61-91).
Índice de absorción de agua (IAA),	Vasos de precipitación. Probeta.		En estos análisis se realizaron por cuatuplicado. Antes de iniciar con el procedimiento se taró 4 tubos de centrifuga y 4 vasos de precipitación de 50mL previamente lavados a una temperatura de 60 °C y después dejar enfriar en el desecador aproximadamente 30min y se prosiguió a pesarlos. Luego, pesar en los tubos de centrifuga 1,25 g de almidón en base seca (bs) y agregar 30 mL de agua destilada previamente precalentada a 60 °C y sin	Ecuación 7-2: Índice de absorción de agua (IAA) $IAA = \frac{Peso_{gel} (g)}{Peso_{muestra} (g) bs}$	Ecuación 8-2: Índice de solubilidad en agua (ISA)

<p>índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH).</p>	<p>Tubos de centrifuga. Desecador Estufa Termómetro. Baño maría. Cronometro. Equipo de centrifuga. Balanza analítica.</p>	<p>Almidón de papa china. Agua destilada.</p>	<p>excederse se precede agitar. A continuación, se colocó los tubos en baño maría a 60 °C durante un total de 30 minutos; a los primeros 10 min de haber iniciado con el calentamiento se debe agitar la suspensión. Seguidamente, centrifugar en el equipo (marca Orto Alresta Digtor 21 C) a temperatura ambiente (25 °C) a 4 900 RPM durante 30 minutos. Una vez trascurrido el tiempo de centrifugado se extrae el sobrenadante inmediatamente en una probeta para su respectiva medición de volumen y también, pesar el tubo con el gel restante. Posteriormente, colocar en el vaso de precipitación 10 mL de sobrenadante con su respectivo peso y secarlo en una estufa a 70 °C aproximadamente 12 horas. Finalmente, pesar el vaso de precipitados con los insolubles (Anderson et al., 1970, pp.130-135).</p>	<p>ISA = (Peso solubles (g)x Volumen sobrenadante (mL)x10) / (peso muestra (g) base seca)</p> <p>Ecuación 9-2: Poder de hinchamiento (PH)</p> <p>PH = (Peso gel (g)) / (Peso muestra (g) base seca -Peso solubles (g))</p>	<p>(Anderson et al., 1970, pp.130-135).</p>
---	---	---	---	---	---

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 19-2: Protocolo de obtención del biomaterial.

Análisis	Materiales y equipos	Reactivos	Procedimiento	Ecuación/Fórmula	Método o Ensayo
Método casting	Vasos de precipitación de 50mL y 250mL Probeta de 50mL y 100mL Malla de asbesto Espátula Cajas Petri de vidrio Varilla de agitación Pinzas de crisol. Balanza analítica Reverbero Estufa Termómetro	Almidón de papa china. Glicerina. Ácido acético (vinagre blanco de grado alimenticio). Agua destilada.	El procedimiento se basa en (Meza et al., 2019, pp.68-69) con ciertas modificaciones basadas en (Chariguamán, 2015, p.4), antes de empezar tener pesado los reactivos a utilizarse, se inicia mezclando el almidón y el agua destilada en un vaso de precipitación durante aproximadamente 2 min, luego se agrega el ácido acético y se continúa mezclando, finalmente se adiciona la glicerina y se mezcla aproximadamente 3 min hasta obtener una solución homogénea, posteriormente se retira la espuma excedente. Se prepara el baño maría en un reverbero con su respectiva malla de asbesto a una temperatura de 85°C, después se coloca el vaso de precipitación con la mezcla homogénea en el baño maría en constante agitación con la ayuda de un termómetro hasta llegar a su temperatura de gelatinización T=72.5 °C obteniéndose una mezcla de consistencia viscosa (el tiempo varía dependiendo de cada tratamiento aproximadamente 5 min) inmediatamente verter la mezcla sobre las cajas Petri de vidrio, dejar reposar por 10 min y después colocar la muestra en una estufa a 40°C por 1 hora y finalmente dejar secar a temperatura ambiente aproximadamente 48 horas. Luego del	-	(Meza et al., 2019, pp.68-69).

			<p>secado de las biopelículas se separaron de las cajas Petri manualmente con la ayuda de un estilete y se almacenaron para su previa caracterización. Los datos exactos de almidón, glicerina, ácido acético (vinagre blanco) y agua se muestran en la tabla de la matriz de diseño de experimentos (ver tabla 16-2). En la siguiente tabla 16-2 se muestra los materiales, equipos y reactivos para la elaboración de la biopelícula.</p>		
--	--	--	---	--	--

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

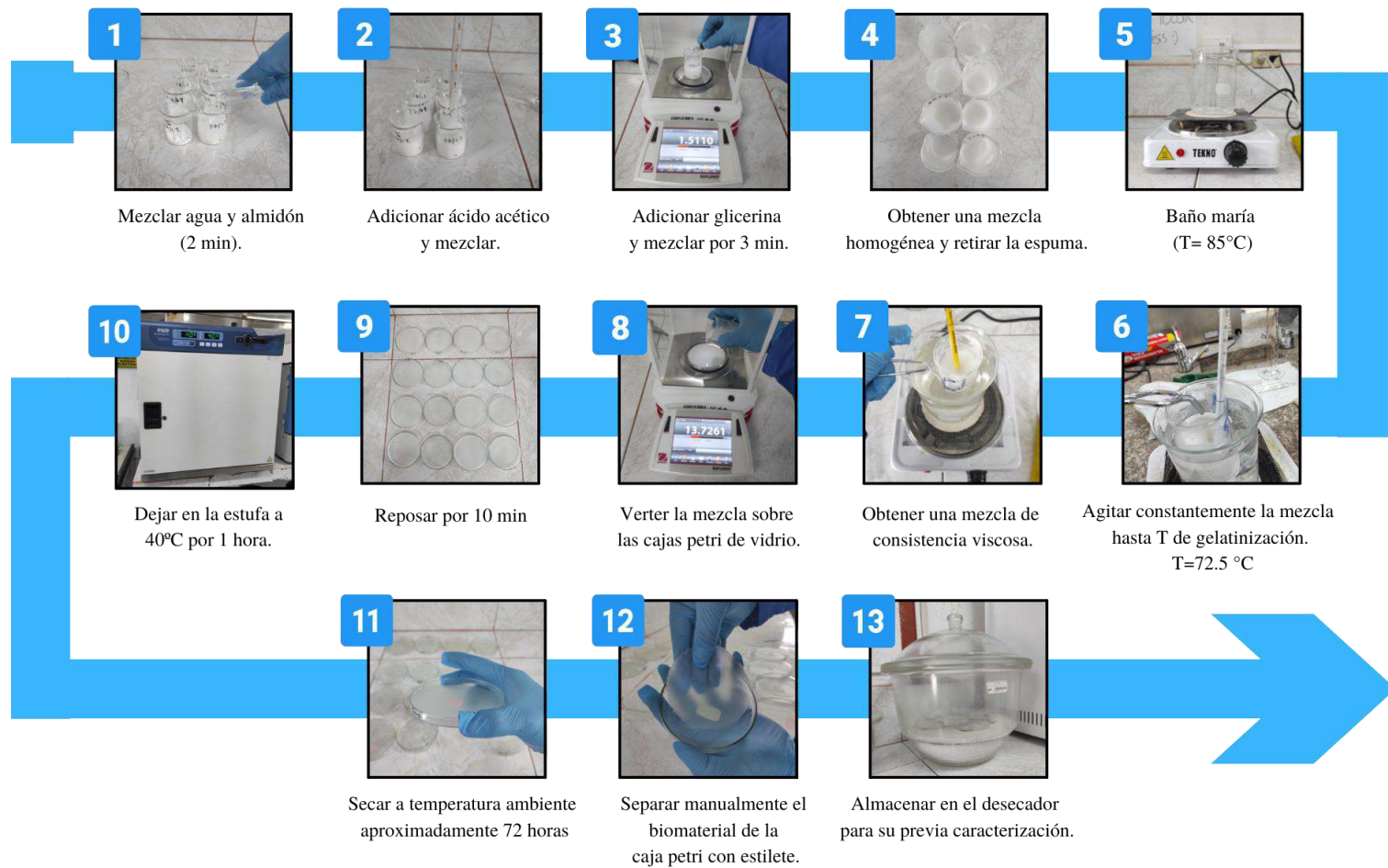


Figura 7-2: Protocolo para la obtención del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 20-2: Caracterización del biomaterial

Análisis	Materiales y equipos	Reactivos	Procedimiento	Ecuación/Fórmula	Método o Ensayo
Espesor	Pie de rey	Biomaterial	De acuerdo con la NTE INEN 2542 (2010, p.3), el bioplástico no debe sobrepasar un espesor de 0.2mm. En el procedimiento se midió con el pie de rey digital (marca Truper Stainless Steel) de preferencia con una resolución de 1 µm tomando 10 datos aleatorios de cada tratamiento. (Escobar et al., 2011, p.2).	Directa	(Escobar et al., 2011, p.2).
Humedad	SARTORIUS. Estilete.	Biomaterial	Para determinar el porcentaje de humedad con la ayuda del equipo SARTORIUS el cual el equipo inicia tomando el peso inicial de las películas (P1) a una temperatura de 105°C y posteriormente el peso final (P2) y finalmente, arroja el valor directo del porcentaje de humedad. También, se puede usar la estufa (Gontard et al., 1994, p.42). Las medidas de los bioplásticos son de 3cm x 3cm y se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento. Por último, guardar las muestras para la prueba de solubilidad.	Directa	(Gontard et al., 1994, p.42)
Solubilidad en agua	Frascos estériles. Equipo Shaker	Biomaterial. Agua destilada.	“La solubilidad de agua se mide mediante el porcentaje de materia seca del bioplástico que se dispersó en agua después de 24 h” (Gontard et al., 1994, p.41). El procedimiento se inicia con el peso de las películas	Ecuación 10-2: Porcentaje de solubilidad	(Gontard et al., 1994, p.41).

	Papel Filtro. Estufa. Balanza analítica.		secas (sin humedad) de formas cuadrada de 3cm (P1) después, se sumerge en 80mL de agua destilada en frascos estériles y se lo ubica en el equipo llamado Orbital Shaker durante 1 hora a 20 °C a 100 rpm. Posteriormente, se saca las películas del equipo y se pone en papel filtro de 5cm x 5cm (previamente pesado). Seguidamente, se secaron los trozos de películas a 105 ° C durante 24 h y se pesaron (P2) con la finalidad de determinar el porcentaje de materia seca (Gontard et al., 1994, p.41).	$\% \text{ Solubilidad} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$ <p>Donde: P_1 = Peso inicial de la película (sin humedad) (g). P_2 = Peso final de la película seca (g).</p>	
Trasmisión de vapor de agua y permeabilidad de vapor de agua.	Tubos de ensayos. Gradilla. Desecador. Pie de rey. Parafilm/cinta scotch. Estufa	Biomaterial. Cloruro de sodio. Sílica gel. Agua destilada.	En esta prueba se usó el método del vaso seco descrito en la norma ASTM D1653-93, el cual se empleó sílica gel previamente activada a 200°C por 24 horas (dejar enfriar en el desecador), En el procedimiento, se inicia con 4 tubos de ensayo para cada tratamiento de 14.91cm±0.01 de altura y 1.56cm ±0.002 de diámetro llenándose con sílica gel las 3/4 partes (el espacio sobrante sirve para mezclar delicadamente la silica gel durante cada pesado). Después, coloque con cuidado las muestras de bioplástico con un tamaño de 4cm x 4cm en la boca del tubo de ensayo sellando herméticamente con parafilm “M” o cinta scotch. Una vez sellados los tubos, se pesaron e inmediatamente se	<p>Ecuación 11-2: Tasa de transmisión de vapor de agua</p> $WVTR = \frac{Q}{t * A}$ <p>Donde: WVT = Tasa de transmisión de vapor de agua, (g/hm²). Q = cambio de peso, (g). t = tiempo de la prueba, (h). A = Área total del</p>	(ASTM D1653-93, 1999, p.3).

			<p>colocaron en el desecador con una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) obteniéndose una humedad relativa (HR) 70-75% y una temperatura de 25-27°C. Las muestras fueron pesadas cada día durante 1 semana. Por otro lado, el tiempo de pesaje debe ser un aproximado a los 15 minutos (ASTM, 1999, p.3).</p>	<p>bioplástico, (m^2).</p> <p>Ecuación 12-2: Permeabilidad de vapor de agua</p> $WVP = \frac{WVT}{\Delta p} * e$ <p>Donde: WVP = Permeabilidad al vapor de agua en ($g^*/hmMPa$). WVT = Tasa de transmisión de vapor de agua, (g/hm^2). $\Delta p = S * (HR_2 - HR_1)$ S = Presión de vapor de saturación a la temperatura de prueba (MPa) T= 25°C. HR₂ = es la humedad relativa de la cámara con solución de cloruro</p>	
--	--	--	--	--	--

				de sodio saturada (HR2 = 75%). HR₁ = es la humedad relativa en el interior de la celda (HR1= 0%). e = espesor (m).	
Biodegradabilidad	Envases de plástico. Estilete.	Biomaterial. Suelo. Agua.	En este análisis se optó por tres condiciones: agua, ambiente y suelo. Por ello, para cada análisis de biodegradación las muestras se cortaron en 3 cm x 3 cm con tres repeticiones para su respectivo promedio. Mientras tanto, para cada uno de los análisis de biodegradación se usó la siguiente ecuación 13-2 en función de la pérdida de área (cm ²) que se obtendrá con la ayuda del programa ImageJ mediante una foto.	Ecuación 13-2: Porcentaje de biodegradabilidad $\%Biodegradabilidad = \frac{A_1 - A_2}{A_1} * 100$ Donde: A_1 = Área inicial, (cm ²). A_2 = Área final, (cm ²).	
			En el análisis de las propiedades mecánicas de las películas se optó por triplicar la mezcla para su respectivo vertido en las placas de vidrio con medidas de 18cm x 27cm, se usó el equipo EZ-S SHIMADZU del laboratorio de Investigación de la facultad de Ciencias. Se utilizo la norma ASTM D882-18 por lo que este método determina las propiedades de tensión	Ecuación 14-2: El módulo de elasticidad $ME = \frac{F/A}{\Delta L/L}$ Donde:	(ASTM D882-18, 2018, pp.1-12).

<p align="center">Pruebas Mecánicas</p>	<p align="center">Equipo EZ-S SHIMADZU. Estilete.</p>	<p align="center">Probeta de biomaterial.</p>	<p>de los plásticos en forma de películas delgadas con un espesor menor a 1,0 mm (ASTM D882-18, 2018, pp.1-12). Para aplicar este método se empleó un molde de probeta (ver anexo H) con 2 repeticiones. Las muestras se sujetaron a las mordazas del equipo registrando la carga máxima (N) y la deformación (m). De este modo, se determinó la resistencia a la tracción (MPa), el módulo de elasticidad (MPa) y el porcentaje de elongación (%). Por otro lado, la resistencia a la tracción se calculó dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal de la película. Del mismo modo, el porcentaje de elongación se midió dividiendo el cambio de longitud alcanzado en la rotura con la longitud original de la película. Además, el módulo de elasticidad (Módulo de Young) que representa la rigidez de las películas se calculó a partir de la porción lineal inicial de la curva de tensión-deformación y viene dado por la siguiente ecuación (Muscat et al., 2012, pp.189-201).</p>	<p>ME= El módulo de elasticidad (MPa). F= La carga máxima (N). A= El área de la sección transversal (m²). ΔL= El cambio de longitud. L= La longitud original de la película.</p>	
--	---	---	---	--	--

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Recolección de datos del almidón de papa china y materia prima

3.1.1. Características físicas de la papa china

En la tabla 1-3 se muestra los datos de las características físicas de la papa china en la cual se tomó un muestreo de 5 tubérculos con la finalidad de analizar su peso, longitud y diámetro obteniéndose una media con su respectiva desviación estándar (\pm).

Tabla 1-3: Características físicas de la papa china

Repetición	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	140.5580	69.76	55.95
2	156.1472	79.12	53.76
3	146.0278	74.83	58.97
4	153.3538	79.64	60.87
5	156.0355	86.64	55.41
Promedio	150.42 \pm 3.08	78 \pm 2.8	56.99 \pm 1.28

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.1.2. Extracción de almidón

En la tabla 2-3 se muestra el rendimiento del almidón a partir de la papa china por vía húmeda aplicando el diseño factorial 2^2 obteniéndose 4 tratamientos con sus respectivas 4 repeticiones cada uno. Las variables fueron la velocidad baja (RPM 1) y alta (RPM 2) de la licuadora marca Osterizer vs el tiempo de 60s y 90s.

Tabla 2-3: Rendimiento de la extracción de almidón de papa china

TRATAMIENT O	VARIABLE S	REPETICIÓN N	VOLUMEN DE AGUA (mL)	PESO (g)					RENDIMIENTO (%)		TIEMPO DE SECADO (h)	PROMEDIO	
				PRODUCTO (100g)			ALMIDÓN		R	PROMEDIO			PROMEDIO
				Pulpa	Residuo	R	TOTAL	R					
T1	RPM 1: 60s	R1	250	89	11	14.20	14.53	58.12	15.96	38	16.18±0.21		
		R2		92	8	15.29		16.62					
		R3		91	9	14.97		16.45					
		R4		87	13	13.66		15.70					
T2	RPM 1: 90s	R1	250	89	11	13.38	14.81	59.22	15.03	40	16.35±0.49		
		R2		90	10	14.59		16.21					
		R3		91	9	15.47		17.00					
		R4		92	8	15.78		17.15					
T3	RPM 2: 60s	R1	250	89	11	18.07	17.95	71.78	20.30	48	19.99±0.27		
		R2		90	10	18.16		20.18					
		R3		91	9	18.46		20.29					
		R4		89	11	17.09		19.20					
T4	RPM 2: 90s	R1	250	90	10	14.20	14.98	59.90	15.78	46	16.40±0.4		
		R2		91	9	14.86		16.33					
		R3		94	6	16.50		17.55					
		R4		90	10	14.34		15.93					

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.1.3. Curva de secado del almidón

Para la realización de la curva de secado se tomó en cuenta el tratamiento 3 (T3) el cual fue el mejor rendimiento sobre la extracción del almidón, Para realizar la curva de secado se usó intervalos de cada 30 min mediante la estufa a una temperatura de 60 °C. Además, se realizó 4 repeticiones.

Tabla 3-3: Curva de secado del tratamiento 3 (T3)

Tiempo (h)	Masa (g)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
0.0	40.32	40.98	41.39	39.37
0.5	32.23	32.74	32.96	30.62
1.0	23.42	23.76	23.75	21.37
1.5	19.31	19.82	20.01	17.92
2.0	18.87	18.70	18.90	17.43
2.5	18.58	18.45	18.78	17.35
3.0	18.22	18.38	18.60	17.26
3.5	18.10	18.22	18.51	17.11
4.0	18.07	18.16	18.46	17.09
4.5	18.07	18.16	18.46	17.09

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.1.4. Caracterización fisicoquímicos del almidón de papa china y materia prima

En las siguientes tablas 4-3, 5-3, 6-3, 7-3, 8-3, 9-3, 10-3, 11-3, 12-3, 13-3, 14-3, 15-3, 16-3, 17-3, y 18-3, se muestran los diferentes análisis fisicoquímicos que se realizaron tanto al almidón de papa china como a la materia prima y se tomaron 3 repeticiones para cada prueba con la finalidad de obtener su promedio y su respectiva desviación estándar (\pm).

Tabla 4-3: Humedad y sustancia seca

Repeticiones	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	2.362	0.925
2	2.230	0.878
3	2.072	0.837

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 5-3: Porcentaje de ceniza para el almidón y materia prima

Muestra	Repetición	Masa del crisol (g)	Masa muestra (g)	Masa (ceniza + crisol) (g)
Almidón	1	39.0780	1.0014	39.0868
	2	39.3905	1.0013	39.3989
	3	35.1526	1.0012	35.1618
Materia prima	1	43.0519	1.0012	43.0929
	2	36.8021	1.0010	36.8373
	3	42.4980	1.0011	42.5383

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 6-3: Densidad para el almidón de papa china mediante el picnómetro

Repetición	Picnómetro vacío	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	Masa (g)	Volumen (mL)
1	11.8781	21.4881	15.9357	16.4077	21.6553	0.47200	0.30532
2	10.8904	21.6516	16.9824	17.4145	21.8037	0.43210	0.28054
3	15.6117	25.3988	20.8109	21.5215	25.6605	0.71060	0.44976

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 7-3: Densidad aparente para el almidón empacado mediante la probeta

Repetición	Masa probeta vacía (g)	Masa probeta + almidón (g)	Volumen probeta (mL)
1	30.8364	39.5056	10
2	71.1097	92.8986	25
3	34.0041	42.6300	10

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.1.5. *Propiedades funcionales del almidón y materia prima*

Tabla 8-3: IAA, ISA y PH del almidón

Repetición	Masa tubo vacío (g)	Masa vaso vacío (g)	Masa (tubo + gel) (g)	Masa (vaso + 10mL de sobrenadante) (g)	Masa (vaso + solubles) (g)
1	31.5254	12.9411	15.4851	41.4102	31.5337
2	28.1462	12.9196	15.3687	37.9893	28.1542
3	35.7730	12.9588	15.4086	45.6601	35.7812
4	29.9761	12.9438	15.3486	39.8745	29.9842

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 9-3: IAA, ISA y PH del almidón (continuación)

Masa del gel (g)	Masa de la muestra (g)	Masa soluble (g)	Volumen sobrenadante (mL)
2.5440	1.2508	0.0083	28.0000
2.4491	1.2505	0.0080	29.0000
2.4498	1.2505	0.0082	29.0000
2.4048	1.2503	0.0081	28.5000

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.1.6. *Elaboración del biomaterial a partir del almidón de papa china*

En la tabla 10-3, se muestra los datos de la elaboración del biomaterial a partir de almidón de papa china siguiendo la metodología descrita anteriormente y se realizó en el Laboratorio de Investigación. Por otro lado, en la simbología de las variables donde A1 significa almidón bajo y A2 significa almidón alto, en cambio, G1 significa glicerina baja y G2 significa glicerina alta. Además, en el método casting, el vertido de la muestra se usó las cajas Petri de vidrio con las siguientes áreas: el área de la tapa: 73.898 cm² y el área de la base: 62.211 cm².

Tabla 10-3: Datos de la elaboración del biomaterial a partir de almidón de papa china

Tratamiento	Variable	Repetición	Temperatura (°C)		Tiempo de elaboración (min)	Secado		
			Baño maría	Gelatinización		Método	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
T1	A1:G1	R1			3:51			
		R2						
		R3			4:32			
		R4						
T2	A1:G2	R1			4:11			
		R2						
		R3			4:09			
		R4	85	72.5		Ambiente	25	72
T3	A2:G1	R1			2:59			
		R2						
		R3			3:12			
		R4						
T4	A2:G2	R1			4:13			
		R2						
		R3			4:27			
		R4						

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 11-3: Datos de la obtención del biomaterial por el método casting a partir de almidón de papa china

Tratamiento	Variable	Método Casting			Obtención del biomaterial					
		Repetición	Área (cm ²)	Masa del vertido (g)	Masa caja Petri vacía (g)	Masa de caja Petri + muestra seca (g)	Masa del biomaterial (g)	Promedio de la masa biomaterial (g)	Masa/área (g/cm ²)	% Humedad
T1	A1:G1	R1	73.898	14.4600	37.2464	38.7337	1.4873	1.3462 ±0.074	0.0201	89.71
		R2	62.211	11.9700	37.6184	38.8461	1.2277		0.0197	89.74
		R3	73.898	13.9700	41.5068	42.9688	1.4620		0.0198	89.53
		R4	62.211	11.6200	43.5218	44.7296	1.2078		0.0194	89.61
T2	A1:G2	R1	73.898	13.4600	38.7789	40.3508	1.5719	1.4767 ±0.056	0.0213	88.32
		R2	62.211	11.8400	44.2332	45.617	1.3838		0.0222	88.31
		R3	73.898	13.5000	44.0210	45.5953	1.5743		0.0213	88.34
		R4	62.211	11.8500	44.5202	45.8968	1.3766		0.0221	88.38
T3	A2:G1	R1	73.898	14.2600	37.4958	39.1218	1.6260	1.4413 ±0.076	0.0220	88.60
		R2	62.211	11.7000	37.8275	39.1573	1.3298		0.0214	88.63
		R3	73.898	13.2500	42.1705	43.6742	1.5037		0.0203	88.65
		R4	62.211	11.4700	46.6685	47.9741	1.3056		0.0210	88.62
T4	A2:G2	R1	73.898	14.0100	37.8373	39.6094	1.7721	1.6291 ±0.073	0.0240	87.35
		R2	62.211	11.6400	37.0864	38.5487	1.4623		0.0235	87.44
		R3	73.898	13.7000	37.9594	39.6862	1.7268		0.0234	87.40
		R4	62.211	12.4000	38.5215	40.0768	1.5553		0.0250	87.46

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 12-3: Espesor del biomaterial en las cajas Petri

Espesor (mm)	Tratamientos															
	T1				T2				T3				T4			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
e1	0.14	0.12	0.10	0.09	0.14	0.12	0.11	0.12	0.14	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.14	0.11
e2	0.14	0.12	0.10	0.09	0.16	0.12	0.11	0.12	0.16	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.14	0.14
e3	0.13	0.14	0.10	0.10	0.15	0.13	0.10	0.13	0.16	0.08	0.13	0.14	0.16	0.16	0.16	0.13
e4	0.13	0.14	0.11	0.10	0.15	0.14	0.10	0.13	0.15	0.10	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13
e5	0.16	0.13	0.11	0.09	0.14	0.14	0.12	0.10	0.15	0.10	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.13
e6	0.15	0.13	0.12	0.09	0.14	0.11	0.10	0.10	0.17	0.09	0.13	0.13	0.16	0.16	0.13	0.12
e7	0.15	0.13	0.12	0.09	0.13	0.10	0.09	0.13	0.17	0.09	0.13	0.15	0.13	0.15	0.13	0.14
e8	0.14	0.14	0.10	0.10	0.12	0.13	0.13	0.13	0.18	0.10	0.14	0.16	0.14	0.15	0.16	0.13
e9	0.16	0.15	0.10	0.10	0.13	0.17	0.14	0.14	0.18	0.10	0.12	0.16	0.16	0.14	0.16	0.11
e10	0.17	0.13	0.09	0.09	0.16	0.16	0.11	0.15	0.15	0.09	0.12	0.12	0.15	0.16	0.17	0.12
Promedio	0.12±0.01				0.13±0.01				0.13±0.01				0.14±0.01			

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.1.7. Caracterización del biomaterial a partir del almidón de papa china**Tabla 13-3:** Datos de solubilidad del biomaterial

Tratamiento	Repeticiones	Peso inicial (g)	Peso final (g)
T1	R1	0.1177	0.0771
	R2	0.1371	0.0898
	R3	0.1449	0.0952
T2	R1	0.1472	0.0811
	R2	0.1408	0.0774
	R3	0.1519	0.0824
T3	R1	0.1631	0.1110
	R2	0.1615	0.1132
	R3	0.1358	0.0972
T4	R1	0.1887	0.1111
	R2	0.1674	0.1035
	R3	0.1999	0.1163

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 14-3: Tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) y permeabilidad de vapor de agua (WVP) del biomaterial

Tratamientos	Repetición (g)	Tiempo (horas)								Área (m ²)	Espesor (m)
		0	24	48	72	96	120	144	168		
T1	R1	33.8525	33.9265	34.0111	34.0886	34.1536	34.2145	34.2805	34.3425	0.00155	0.00013
	R2	34.0232	34.0984	34.1802	34.2579	34.3247	34.3879	34.4526	34.5152	0.00155	0.00013
	R3	33.9077	33.9811	34.0653	34.1423	34.2094	34.2739	34.3402	34.4043	0.00156	0.00015
	R4	32.9203	32.9905	33.0703	33.1445	33.2093	33.2710	33.3353	33.3968	0.00155	0.00016
T2	R1	34.0880	34.1693	34.2545	34.3344	34.4009	34.4625	34.5277	34.5898	0.00151	0.00016
	R2	34.5190	34.6042	34.6920	34.7741	34.8431	34.9063	34.9719	35.0360	0.00152	0.00013
	R3	33.7297	33.8098	33.8941	33.9716	34.0370	34.0958	34.1588	34.2210	0.00150	0.00016
	R4	34.1801	34.2605	34.3451	34.4230	34.4885	34.5470	34.6104	34.6716	0.00149	0.00015
T3	R1	33.8077	33.8909	33.9780	34.0596	34.1272	34.1896	34.2549	34.3176	0.00149	0.00017
	R2	34.4687	34.5495	34.6342	34.7125	34.7784	34.8372	34.9001	34.9614	0.00149	0.00018
	R3	34.4834	34.5638	34.6481	34.7264	34.7937	34.8553	34.9192	34.9814	0.00151	0.00017
	R4	34.1370	34.2149	34.2979	34.3769	34.4431	34.5029	34.5657	34.6278	0.00153	0.00017
T4	R1	33.8572	33.9356	34.0193	34.0986	34.1641	34.2244	34.2877	34.3495	0.00147	0.00016
	R2	33.8473	33.9266	34.0093	34.0882	34.1534	34.2123	34.2748	34.3360	0.00150	0.00017
	R3	34.3415	34.4214	34.5064	34.5861	34.6539	34.7138	34.7769	34.8402	0.00145	0.00018
	R4	34.2911	34.3695	34.4538	34.5332	34.5996	34.6574	34.7196	34.7822	0.00152	0.00019

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 15-3: Biodegradabilidad del biomaterial en el agua

Tratamiento	Unidad	Días											
		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
T1	cm ²	10.	10.	10.	10.	10.	9.9	9.4	9.0	8.2	7.6	7.3	5.8
		54	49	46	43	33	0	4	2	6	8	7	9
T2	cm ²	10.	10.	10.	10.	10.	9.9	9.7	9.2	8.7	8.4	8.0	6.4
		49	47	44	42	34	3	1	0	1	2	6	1
T3	cm ²	11.	11.	11.	11.	10.	10.	9.8	9.2	8.9	8.5	8.2	6.7
		11	07	04	01	92	51	4	9	3	1	0	3
T4	cm ²	10.	10.	10.	10.	10.	10.	9.6	9.3	8.9	8.3	7.8	7.3
		95	92	90	88	81	23	3	3	6	9	0	6

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 16-3: Biodegradabilidad del biomaterial en el ambiente

Tratamiento	Unidad	Días										
		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	
T1	cm ²	8.84	8.82	8.27	8.10	8.04	8.04	8.00	7.73	7.69	7.52	
T2	cm ²	8.49	8.34	8.14	8.00	7.93	7.68	7.45	7.33	7.28	7.13	
T3	cm ²	8.45	8.32	8.25	7.89	7.97	7.88	7.79	7.65	7.44	7.28	
T4	cm ²	8.85	8.79	8.74	8.64	8.52	8.45	8.36	8.22	8.16	8.05	

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 17-3: Biodegradabilidad del biomaterial en el suelo

Tratamiento	Unidad	Días				
		0	4	8	12	16
T1	cm ²	10.42	10.23	8.21	4.52	2.79
T2	cm ²	10.27	9.69	6.55	1.40	0.59
T3	cm ²	10.84	10.66	10.59	8.86	4.86
T4	cm ²	9.79	9.55	7.44	4.84	3.52

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 18-3: Espesor para las pruebas mecánicas del biomaterial

Espesor (mm)	Tratamientos							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
e1	0.17	0.13	0.14	0.10	0.06	0.07	0.18	0.10
e2	0.17	0.12	0.12	0.09	0.06	0.06	0.19	0.11
e3	0.16	0.12	0.12	0.10	0.06	0.06	0.18	0.11
e4	0.17	0.12	0.12	0.10	0.06	0.06	0.18	0.10
e5	0.17	0.13	0.13	0.09	0.05	0.05	0.18	0.10
e6	0.18	0.13	0.12	0.09	0.05	0.04	0.18	0.11
e7	0.18	0.13	0.13	0.10	0.05	0.05	0.19	0.11
e8	0.18	0.14	0.14	0.10	0.05	0.05	0.17	0.09
e9	0.17	0.14	0.14	0.10	0.06	0.05	0.16	0.08
e10	0.17	0.14	0.15	0.10	0.06	0.04	0.16	0.09

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.2. Cálculos

3.2.1. Porcentaje del rendimiento del almidón de papa china

Para este ensayo se realizaron 4 repeticiones para los 4 tratamientos descritos en la tabla 2-3 del cual se procedió a realizar el porcentaje de rendimiento con la ecuación 1-2 para cada repetición se calculó su respectiva media.

$$\%R = \frac{\text{Masa del almidon obtenido (g)}}{\text{Masa inicial de la pulpa del tuberculos (g)}} * 100$$

$$\%R = \frac{18.07g}{89g} * 100$$

$$\%R = 20.30 \%$$

3.2.2. Porcentaje de humedad y materia seca

Para este ensayo se realizaron 3 repeticiones con los datos descritos en la tabla 4-3 y se utilizó el equipo SARTORIUS la cual se procedió a realizar el porcentaje de humedad y sustancia seca con las ecuaciones 2.2 y 3.2, para cada repetición se calculó su respectiva media.

$$\% H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

$$\% H = \frac{2.362g - 0.925g}{2.362g} * 100$$

$$\% H = 60.84\%$$

$$\% \text{ sustancia seca} = 100 - \%H$$

$$\% \text{ sustancia seca} = 100 - 60.84$$

$$\% \text{ sustancia seca} = 39.16\%$$

3.2.3. Porcentaje de ceniza

Para este ensayo se realizaron 3 repeticiones con los datos descritos en la tabla 5-3 del cual se procedió a realizar el porcentaje de ceniza con la ecuación 4-2, para cada repetición se calculó su respectiva media.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{P_{\text{ceniza}}}{P_{\text{muestra}}} * 100$$

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{39.0868g - 39.0780g}{1.0014g} * 100$$

$$\% \text{ Ceniza} = 0.88\%$$

3.2.4. Densidad real con el picnómetro

Para este ensayo se realizaron 3 repeticiones con los datos descritos en la tabla 6-3 con $\delta_{\text{Tagua}_{\text{medición}}}$ a 20° es igual 0.99829 g/ML del cual se procedió a realizar la densidad con la ecuación 6-2 para cada repetición. Se calculó su respectiva media.

$$\delta_{\text{real}} = \frac{m_{\text{almidón}} (g)}{V_{\text{almidón}} (mL)}$$

$$\delta_{\text{real}} = \frac{m_3 - m_2}{\frac{(m_3 - m_2) - (m_4 - m_1)}{\delta_{\text{Tagua}_{\text{medición}}}}}$$

$$\delta_{\text{real}} = \frac{16.4077g - 15.9357g}{\frac{(16.4077g - 15.9357g) - (21.6553g - 21.4881g)}{0.99829 \frac{g}{mL}}}$$

$$\delta = 1.55 \frac{g}{mL}$$

3.2.5. Densidad aparente con la probeta

Para este ensayo se realizaron 3 repeticiones con los datos descritos en la tabla 7-3 y con la ecuación 5-2 para cada repetición. Se calculó su respectiva media.

$$\delta_{\text{aparente}} = \frac{m_{\text{probeta vacia+almidón empacado}} (g) - m_{\text{probeta vacia}} (g)}{V_{\text{probeta}} (mL)}$$

$$\delta_{\text{aparente}} = \frac{39.5056g - 30.8364g}{10mL}$$

$$\delta_{aparente} = 0.867 \frac{g}{mL}$$

3.2.6. Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)

Para estos ensayos se realizaron 4 repeticiones con los datos descritos en las tablas 8-3 y 9-3 utilizando sus respectivas ecuaciones 5.2, 6.2 y 7.2 para cada repetición se calculó sus respectivas medias.

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

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{2.5440g}{1.2508g}$$

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = 2.0339 \frac{g\ gel}{g\ muestra}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso}_{solubles} (g) \times V_{sobrenadante} (mL) \times 10}{\text{Peso}_{muestra} (g) bs}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{0.0083g \times 28mL \times 10}{1.2508g}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = 1.8580\%$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso}_{gel} (g)}{\text{Peso}_{muestra} (g) bs - \text{Peso}_{solubles} (g)}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{2.5440g}{1.2508g - 0.0083g}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = 2.0475 \frac{g\ H2O}{g\ almidón}$$

3.2.7. Porcentaje de solubilidad del biomaterial

Para este ensayo se realizaron 3 repeticiones con los datos descritos en la tabla 13-3 del cual se procedió a realizar el porcentaje de solubilidad aplicando la ecuación 8-2 para cada repetición se calculó su respectiva media.

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{0.1472g - 0.0811g}{0.1472g} * 100$$

$$\% \text{ Solubilidad} = 44.90\%$$

3.2.8. Transmisión de vapor de agua y permeabilidad de vapor de agua del biomaterial

Para estos dos ensayos se realizaron 3 repeticiones con los datos descritos en la tabla 14-3 durante 7 días aplicando las ecuaciones 9.2 y 10.2 para cada repetición se calculó su respectiva media. Tasa de transmisión de vapor de agua.

$$WVTR = \frac{Q}{t * A}$$
$$WVTR = \frac{34.3425g - 33.8525g}{(168h - 0h) * 0.00155m^2}$$
$$WVTR = 1.882 \frac{g}{h * m^2}$$

Permeabilidad de vapor de agua.

$$WVP = \frac{WVT}{\Delta p} * e$$
$$WVP = \frac{1.882 \frac{g}{h * m^2}}{0.00317Mpa * (0.75-0)} * 0.00013m$$
$$WVP = \frac{1.882 \frac{g}{h * m^2}}{0.00317Mpa * (0.75-0)} * 0.00013m$$
$$WVP = 0.103 \frac{g}{h * m * Mpa}$$

3.2.9. Módulo de elasticidad del biomaterial

Para este ensayo se realizó por duplicado y aplicando la ecuación 14-2 para cada repetición se calculó su respectiva media.

$$ME = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$
$$ME = \frac{14.7 N / 2.58 \times 10^{-6} m}{0.010 m / 0.070 m}$$
$$ME = 398837209 Pa * \frac{1 MPa}{1000000 Pa}$$
$$ME = 39.88 MPa$$

3.2.10. Porcentaje de biodegradabilidad del agua, suelo y ambiente

Para este ensayo se realizó por triplicado y aplicando la ecuación 13-2 para cada tratamiento con la ayuda del programa ImageJ. Para este ensayo se realizó por triplicado y se usó el programa ImageJ para el cálculo del área y aplicando la ecuación 13-2 para cada repetición se calculó su respectiva media.

Porcentaje de biodegradabilidad del suelo

$$\%Biodegradabilidad = \frac{A_1 - A_2}{A_1} * 100$$

$$\%Biodegradabilidad = \frac{10.42 - 2.79}{10.42} * 100$$

$$\%Biodegradabilidad = 73.22 \%$$

3.3. Resultados

3.3.1. Rendimiento del almidón mediante el método de vía húmeda

Para la determinación del porcentaje de cada tratamiento se usó aproximadamente 100g de materia prima obteniéndose una pulpa neta de 90.31g ±0.33 y un residuo (cáscara) de 9.69g ±0.33 tal y como se muestra en la tabla 2-3.

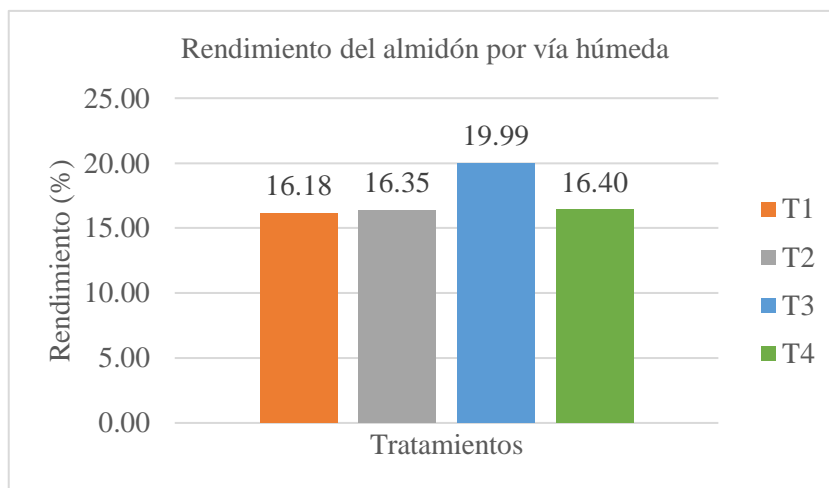


Gráfico 1-3: Rendimiento del almidón por el método de vía húmeda.

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.3.1.1. Análisis de varianza del rendimiento del almidón (vía húmeda)

Para el análisis de varianza (ANOVA) se usó el programa Minitab 19 utilizando el modelo lineal general.

Tabla 19-3: Información de los factores.

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Rpm	Fijo	2	1; 2
Tiempo	Fijo	2	60; 90

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 20-3: Análisis de Varianza (ANOVA) del rendimiento del almidón

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor F	Probabilidad
Rpm	1	14.900	14.8996	29.08	0.000
Tiempo	1	11.765	11.7649	22.96	0.000
Rpm*Tiempo	1	14.138	14.1376	27.59	0.000
Error	12	6.149	0.5124		
Total	15	46.951			

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 21-3: Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.72	86.90%	83.63%	76.72%

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.3.1.2. Análisis de Tukey sobre el rendimiento del almidón (vía húmeda)

Para el análisis de TUKEY se usó el programa Minitab 19 para la comparación de los dos factores rpm y tiempo con una confianza del 95% en la cual las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 22-3: Comparación de factores de Tukey

Rpm*Tiempo	N	Media	Agrupación
2 60	4	19.9925	A
2 90	4	16.3975	B
1 90	4	16.3475	B
1 60	4	16.1825	B

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

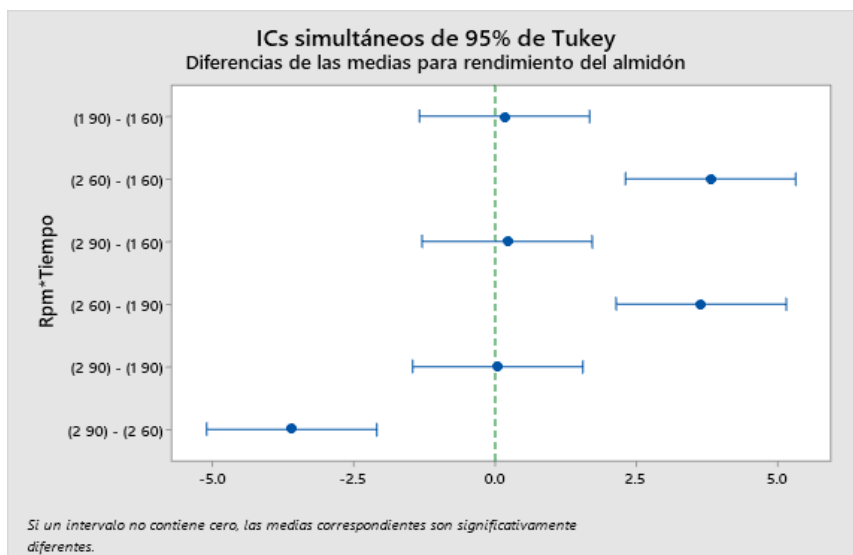


Gráfico 2-3: Diferencias de las medias por el método de Tukey

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.3.1.3. Curva de secado del almidón

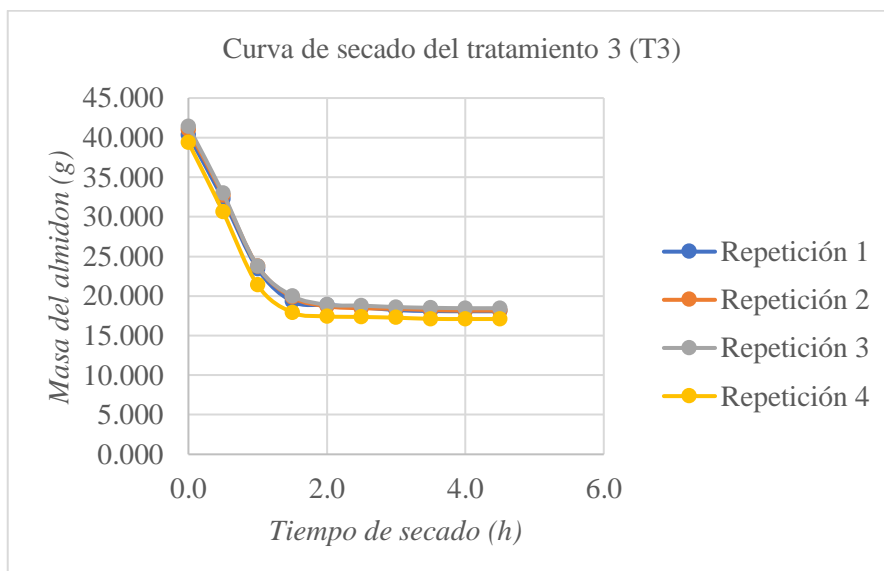


Gráfico 3-3: Curva de secado de almidón del tratamiento 3 (T3)

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 3-3 se muestra la curva del almidón de la papa china el cual se tomó como referencia al tratamiento 3 (T3) por destacar en el rendimiento sobre los otros tratamientos.

3.3.1.4. Caracterización físicoquímicos, organolépticas y microbiológicas del almidón y materia prima

En las tablas 23-3 y 24-3 se presenta las características organolépticas del almidón de papa china y la materia prima como: el color, olor, sabor y su textura respectivamente.

Tabla 23-3: Características organolépticas del almidón

Muestra	Color	Olor	Sabor	Textura
Almidón de papa china	Blanco	Inoloro	Insípido	Granular

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 24-3: Características organolépticas de la papa china

Muestra	Color interno	Color externo	Olor	Sabor	Textura interna	Textura externa
Papa china	Blanco	marrón	Inoloro	Insípido	Dura	Rugosa

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En la tabla 25-3 se presenta el análisis microbiológico para el almidón de papa china se lo realizó en el Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbios en agua y alimentos (SAQMIC) en la cual consta de los siguientes microorganismos a analizar: Aerobios mesófilos, Coliformes totales, Coliformes fecales (*Escherichia coli*), Mohos y levaduras.

Tabla 25-3: Análisis microbiológico del almidón

Muestra	Microorganismos	Resultado
Almidón de papa china	Aerobios mesófilos	Ausencia
	Coliformes totales	Ausencia
	Coliformes fecales (<i>Escherichia coli</i>)	Ausencia
	Mohos y levaduras	Ausencia

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En la tabla 26-3 se llevó a cabo un análisis proximal del almidón de papa china extraído por el método de vía húmeda y también de la materia prima, en donde se evaluaron los siguientes análisis bromatológicos:

Tabla 26-3: Caracterización fisicoquímicas del almidón de papa china y su materia prima

Muestra	Parámetros	Unidades	Valor	Norma /Institución
Materia prima	Humedad	%	60.36±0.38	(NTE INEN-ISO 1666, 2014)
	Sustancia seca	%	39.64±0.38	(NTE INEN-ISO 1666, 2014)
	Ceniza	%	3.88±0.18	AOAC 942.05
	pH	-	6.36±0.003	INEN 1456
	Fibra cruda	%	6.53	Método gravimétrico Digestión ácida y básica/SAQMIC
	Proteína	%	4.71	Método Kjeldahl/SAQMIC
	Grasa	%	1.50	NTE INEN 523/SAQMIC
	Viscosidad	°C mPa*s	23.9±0.33 495.6±32.25	(ISI 17, 2002)
Almidón de papa china	Humedad	%	0.81	(NTE INEN-ISO 1666, 2014)
	Sustancia seca	%	99.19	(NTE INEN-ISO 1666, 2014)
	Ceniza	%	0.88±0.02	AOAC 942.05
	Solubilidad	%	Si	(NTE INEN 1456, 1986)
	Fibra cruda	%	0.70	Método gravimétrico Digestión ácida y básica/SAQMIC
	Proteína	%	0.26	Método Kjeldahl/SAQMIC
	Grasa	%	0.90	NTE INEN 523/ SAQMIC
	pH	-	6.56±0.01	INEN 1456
Densidad Real	g/mL	1.56±0.01	(Cromtek, 2020).	
Densidad aparente	g/mL	0.87±0.003	(Aristizábal & Sánchez, 2007).	

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En la tabla se presentan las principales propiedades funcionales del almidón de papa china que son: la amilosa, amilopectina, viscosidad de Brookfield, temperatura de gelatinización, ISA, IAA y PH.

Tabla 27-3: Propiedades funcionales del almidón de papa china

Muestra	Parámetros	Unidades	Valor	Norma / Institución
Almidón de papa china	Amilosa	%	30.21	Morrison y Laignelet
	Amilopectina	%	69.79	1983/INIAP
	Viscosidad de Brookfield	°C mPa*s	23.1±0.03 2040±42.71	(ISI 17, 2002).
	Temperatura de gelatinización	°C	72.5±0.06	(Grace, 1997).
	Índice de absorción de agua	g gel/g muestra	1.97±0.02	(Anderson et al., 1970)
	Índice de solubilidad en agua	%	1.87±0.01	(Anderson et al., 1970)
	Poder de Hinchamiento	g H ₂ O/g almidón	1.98±0.02	(Anderson et al., 1970)

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.3.1.5. Elaboración del biomaterial a partir del almidón de papa china

En la elaboración del biomaterial a partir del almidón de papa china se realizó aplicando el método casting que consiste en verter la muestra viscosa en la caja Petri de vidrio en el rango 12.36g ±0.46 - 12.70g ±0.69, posteriormente, se puso en la estufa por una hora e inmediatamente se dejó por 72 horas a temperatura ambiente para su respectivo secado.

Después, se pesó y se obtuvo 1.35g ±0.07 - 1.63g ±0.07 de biomaterial, lo cual, se redujo significativamente el porcentaje de agua obteniéndose una humedad de 87.41% ±0.02 - 89.65% ±0.05. Los datos se encuentran en la tabla 28-3 para los 4 tratamientos.

En la tabla 29-3 se encuentra la composición del biomaterial (almidón, glicerina, ácido acético y agua) que se tomó a partir de la tabla 16-2 para transformar la composición en gramos y su respectivo porcentaje en peso (%P/P) con la ayuda de la densidad de la glicerina de 1.2613 g/cm³ (National Center for Biotechnology Information, 2022a, p.1) y el ácido acético (vinagre) de 1,0446 g/cm³ (National Center for Biotechnology Information, 2022b, p.1).

Tabla 28-3: Aplicación del método casting en la elaboración del biomaterial

Biomaterial	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Área caja Petri (cm ²)	68.05±3.37	68.05±3.37	68.05±3.37	68.05±3.37
Vertido (casting) (g)	12.70±0.69	12.36±0.46	12.43±0.64	12.57±0.55
Masa biomaterial (g)	1.35±0.07	1.48±0.06	1.44±0.08	1.63±0.07
Relación masa/área (g/cm ²)	0.0198±0	0.0217±0	0.0212±0	0.0240±0
Espesor (mm)	0.12±0.01	0.13±0.01	0.13±0.01	0.15±0.01
Humedad (%)	89.65±0.05	88.4±0.02	88.63±0.01	87.41±0.02

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 29-3: Composición del biomaterial

Componentes	Tratamientos							
	T1		T2		T3		T4	
	g	%P/P	g	%P/P	g	%P/P	g	%P/P
Almidón	2.3	6.5	2.3	6.5	2.7	7.5	2.7	7.5
Glicerina	1.1	3.2	1.5	4.2	1.1	3.2	1.5	4.2
Ácido acético	2.1	5.8	2.1	5.8	2.1	5.8	2.1	5.8
Agua	30.0	84.5	30.0	83.5	30.0	83.5	30.0	82.5

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 30-3: Características físicas del biomaterial

Tratamiento	Variable	Repetición	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
T1	A1:G1	R1	Si	Si	Si	Si
		R2	Si	Si	Si	Si
		R3	Si	Si	Si	Si
		R4	Si	Si	Si	Si
T2	A1:G2	R1	Si	Si	Si	Si
		R2	Si	Si	Si	Si
		R3	Si	Si	Si	Si
		R4	Si	Si	Si	Si
T3	A2:G1	R1	Si	Si	Si	Si
		R2	Si	Si	Si	Si
		R3	Si	Si	Si	Si
		R4	Si	Si	Si	Si
T4	A2:G2	R1	Si	Si	Si	Si
		R2	Si	Si	Si	Si
		R3	Si	Si	Si	Si
		R4	Si	Si	Si	Si

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.3.1.6. Caracterización y propiedades mecánicas del biomaterial

En la tabla 31-3 se muestran los resultados de la caracterización del biomaterial que son espesor, humedad, solubilidad, permeabilidad de vapor de agua y biodegradabilidad.

Tabla 31-3: Caracterización del biomaterial

Tratamiento	Espesor (mm)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	Permeabilidad de vapor agua (g/(m*h*MPa))	Biodegradabilidad (%)		
					Agua	Ambiente	Suelo
T1	0.12±0.01	8.99±0.43	34.43±0.07	0.11±0.005	44.12	14.93	73.18
T2	0.13±0.01	9.78±0.43	45.23±0.07	0.13±0.005	38.89	16.02	94.26
T3	0.13±0.01	6.74±0.23	30.09±1.02	0.14±0.003	39.42	13.85	55.13
T4	0.15±0.01	10.53±0.27	40.37±1.12	0.15±0.005	32.79	9.04	64.09

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En la tabla 32-3 se muestran los resultados de las pruebas mecánicas del biomaterial que se realizaron en el laboratorio de Investigación de la facultad de Ciencias.










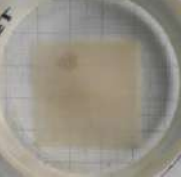








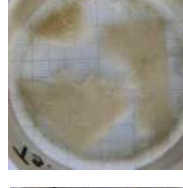













Tabla 32-3: Pruebas mecánicas del biomaterial

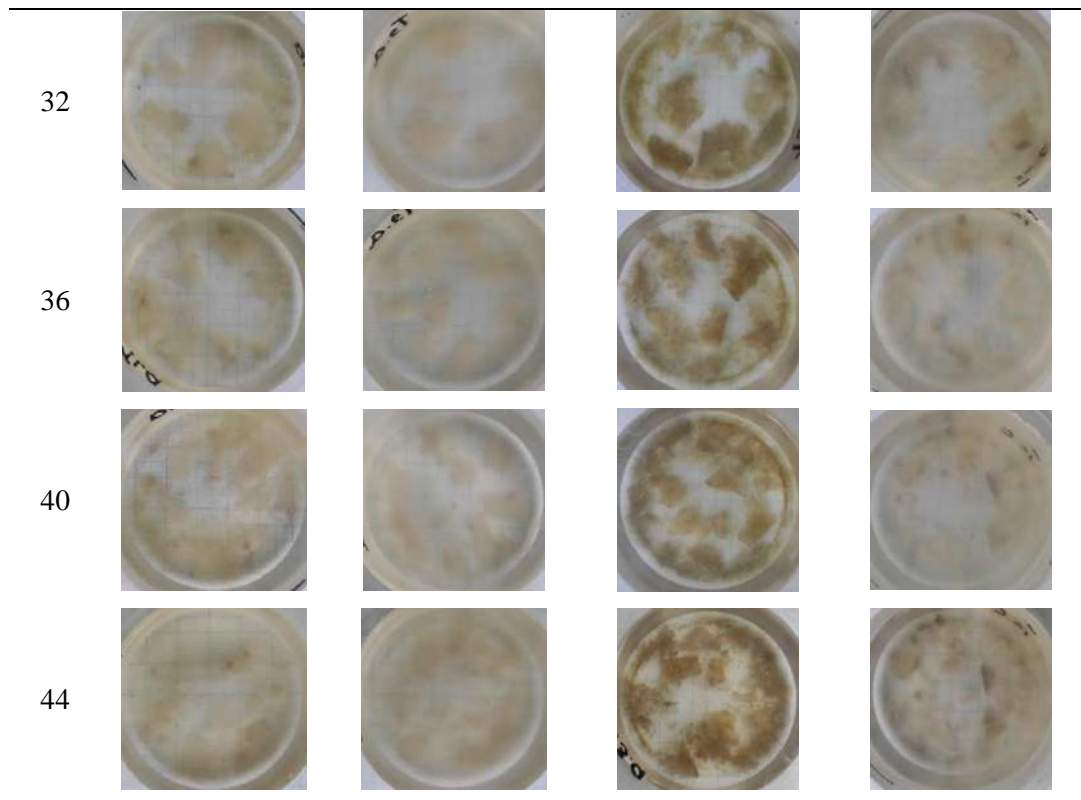
Tratamiento	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de elongación (%)
T1	14.20±0.5	6.36±0.66	42.30±2.42	15.00±0.71
T2	2.00±0.00	1.19±0.18	16.43±7.55	8.57±2.86
T3	4.90±1.00	5.95±1.07	59.5±10.75	10.00±0.00
T4	2.45±0.45	1.21±0.12	13.58±5.1	10.00±2.86

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.3.1.7. Biodegradabilidad del biomaterial

Tabla 33-3: Biodegradación del biomaterial en el agua

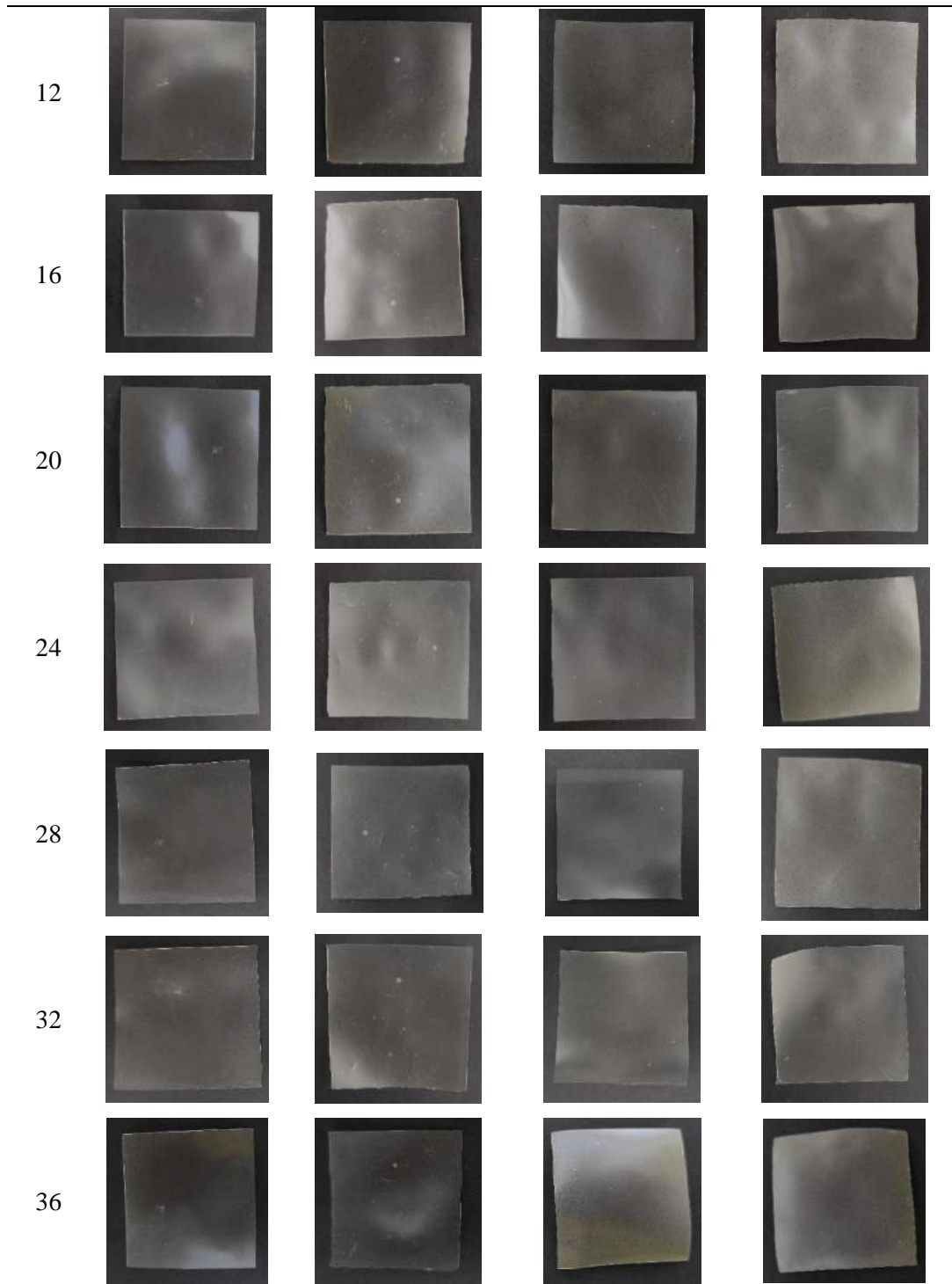
Días	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0				
4				
8				
12				
16				
20				
24				
28				



Realizado por: Sáenz, A. 2022.





















Tabla 34-3: Biodegradación del biomaterial en el ambiente

Días	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0				
4				
8				



Realizado por: Sáenz, A. 2022.

Tabla 35-3: Biodegradación del biomaterial en el suelo

Días	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0				
4				
8				
12				
16				

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En la biodegradación en el agua (tabla 33-3), las muestras fueron recortadas y se colocaron en el recipiente pequeño de plástico introduciendo 50mL de agua. El área se midió cada 4 días durante 44 días con el uso del programa ImageJ, el cual se tomó una foto de la muestra ubicando una hoja milimetrada como referencia. Finalmente, para el cálculo del porcentaje de biodegradabilidad del biomaterial se usó la ecuación 13-2.

En la biodegradación en el ambiente (tabla 34-3), las muestras fueron recortadas y se colocaron en el recipiente pequeño de plástico al aire libre. El área se midió cada 4 días durante 36 días con el uso del programa ImageJ, el cual se tomó una foto de la muestra con un fondo negro pegando una hoja milimetrada como referencia. Finalmente, para el cálculo del porcentaje de

biodegradabilidad del biomaterial se usó la ecuación 13-2.

En la biodegradación en el suelo (tabla 35-3), las muestras fueron recortadas y se enterraron en el suelo en recipientes de plásticos pequeños a una profundidad de 2cm. En los recipientes de plástico se llenó aproximadamente 50 g de tierra. El área se midió cada 4 días durante 16 días con la ayuda del programa ImageJ en la cual se tomó una foto de la muestra con un fondo negro pegando una hoja milimetrada como referencia quitando el excedente de tierra. Finalmente, para el cálculo del porcentaje de biodegradabilidad del biomaterial se usó la ecuación 13-2.

En el gráfico 4-3 se muestra las medidas del espesor de los 4 tratamientos de las cajas Petri de vidrio con la ayuda del pie de rey.

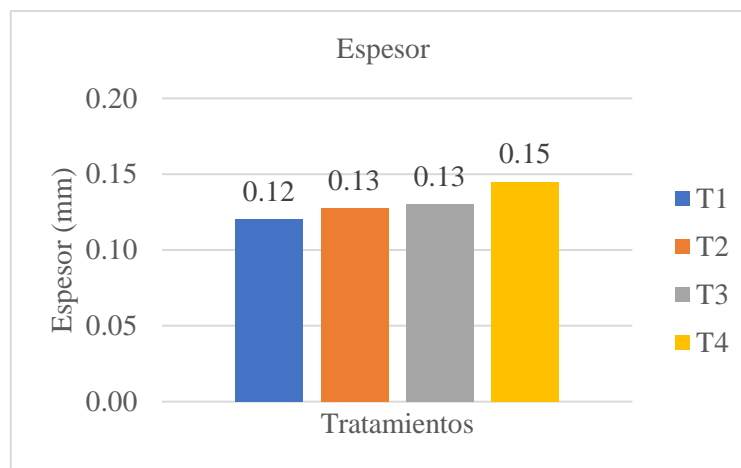


Gráfico 4-3: Espesor del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 5-3 se muestra las medidas del porcentaje de humedad del biomaterial de los 4 tratamientos.

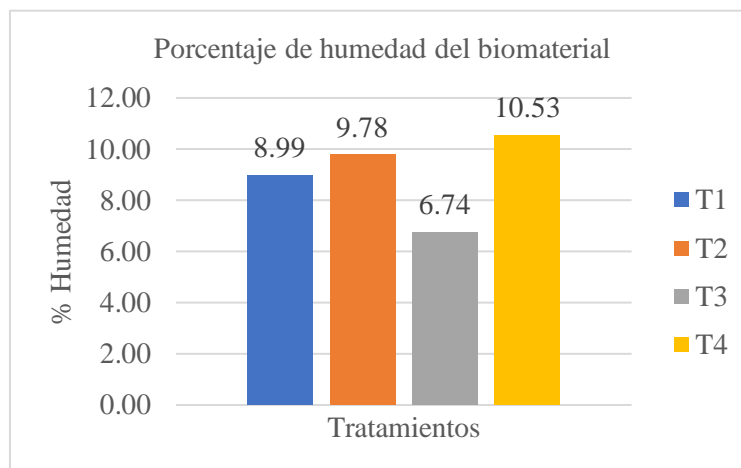


Gráfico 5-3: Porcentaje de humedad del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 6-3 se muestra las medidas del porcentaje de solubilidad del biomaterial de los 4 tratamientos.

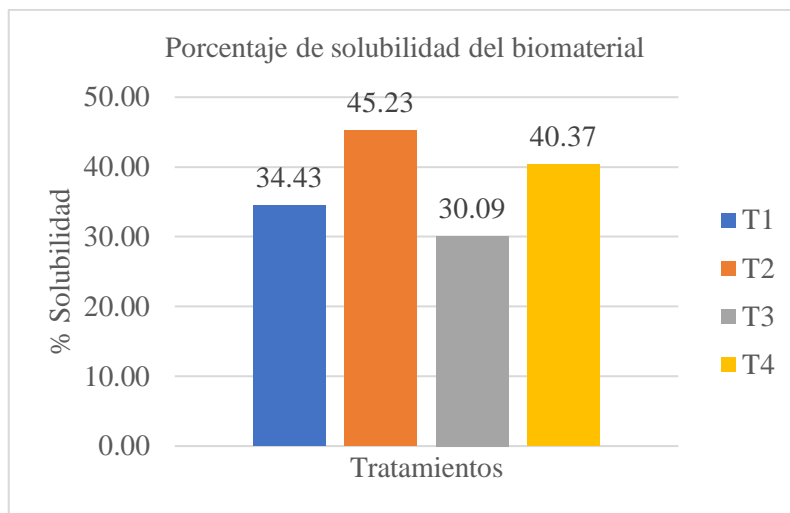


Gráfico 6-3: Porcentaje de solubilidad del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 7-3 se muestra las medidas de la transmisión de vapor de agua del biomaterial de los 4 tratamientos.

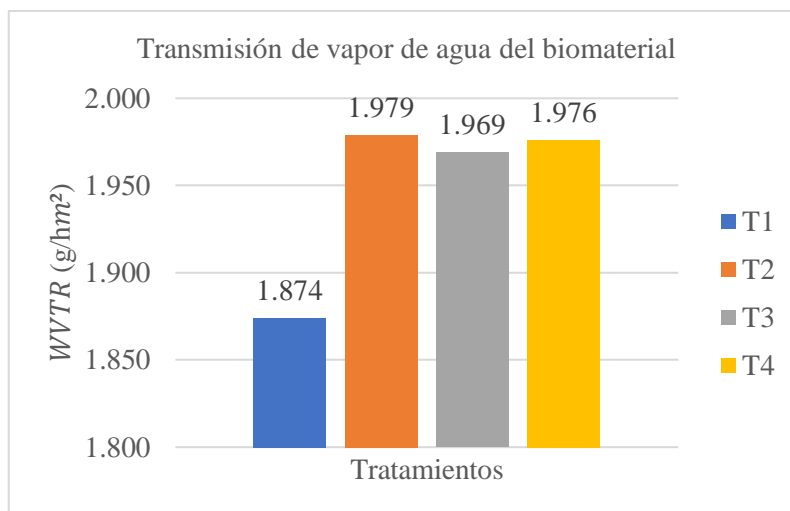


Gráfico 7-3: Transmisión de vapor de agua del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 8-3 se muestra las medidas de la permeabilidad de vapor de agua del biomaterial de los 4 tratamientos.

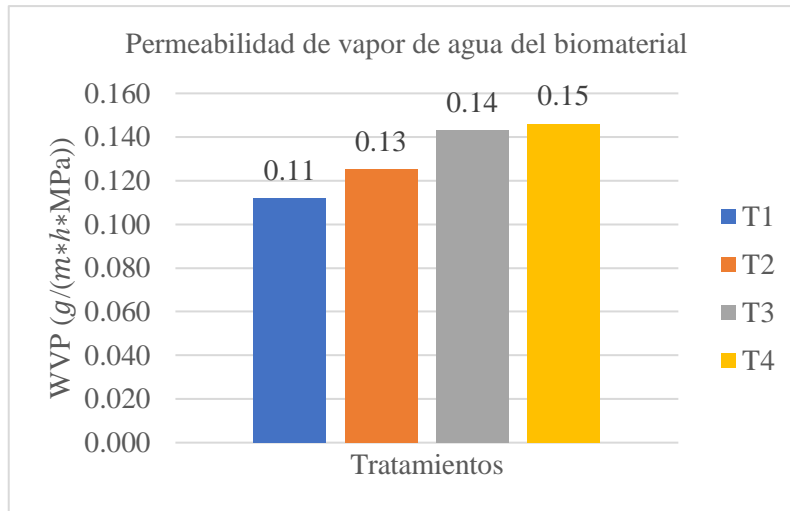


Gráfico 8-3: Permeabilidad de vapor de agua del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 9-3 se muestran los resultados de las pruebas mecánicas del biomaterial de los 4 tratamientos.

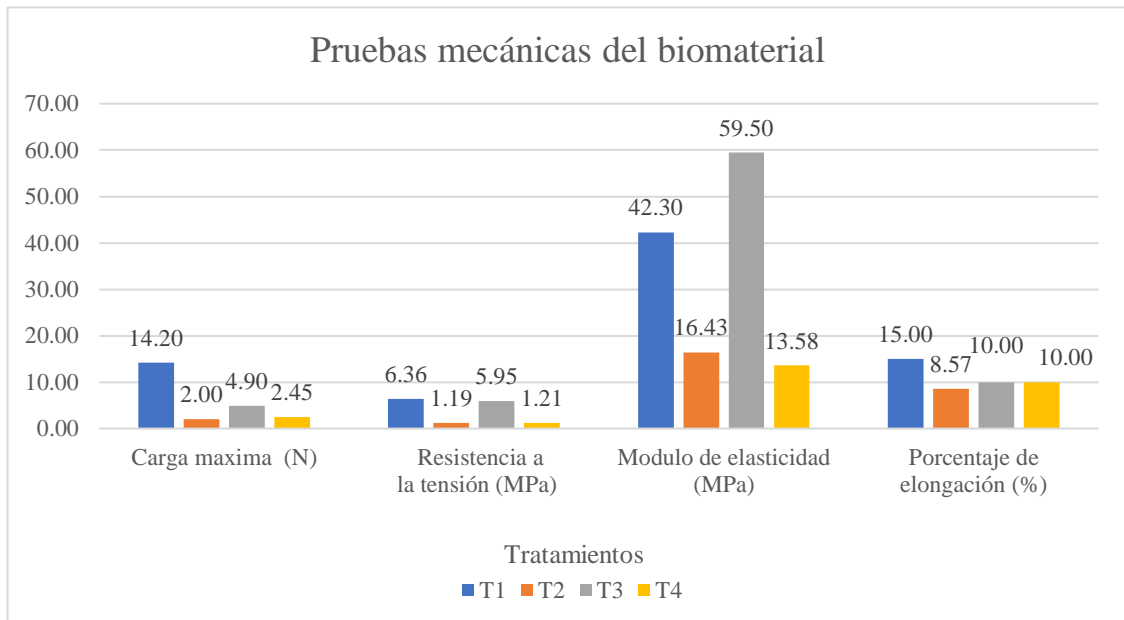


Gráfico 9-3: Pruebas mecánicas del biomaterial

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

En el gráfico 10-3 se muestran los resultados del porcentaje de biodegradación en agua, ambiente y suelo del biomaterial de los 4 tratamientos.

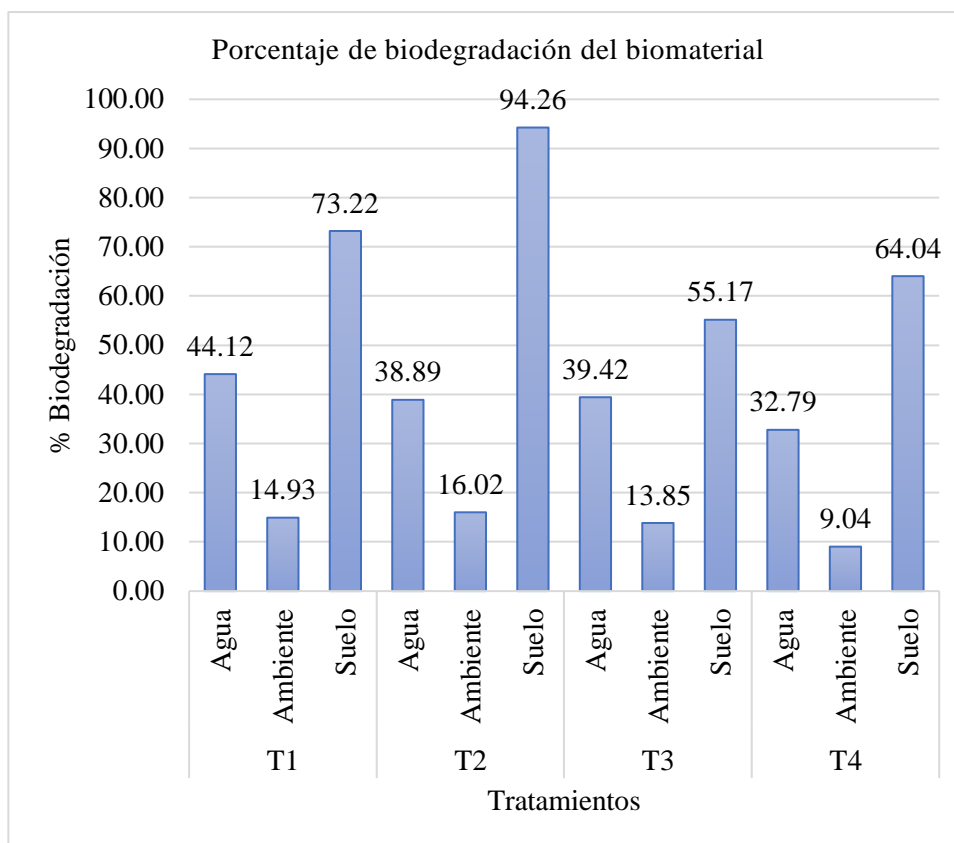


Gráfico 10-3: Porcentaje de biodegradación en agua, ambiente y suelo

Realizado por: Sáenz, A. 2022.

3.4. Discusión

Rendimiento del almidón por el método de vía húmeda

Se calculó el rendimiento del almidón de la papa china y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) como se muestra en tabla 20-3 obteniendo un valor-p = 0.000 que es menor que $\alpha = 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) con lo cual se concluye que sí hay diferencia que influyen en los factores (rpm, tiempo, interacciona) con un 95% de nivel de confianza. Por otro lado, una vez que se rechazó H_0 en el ANOVA se prosiguió a realizar la prueba de Tukey comparando los factores dando una media de 19.99% a un Rpm 2 y un tiempo de 60s ($\text{rpm}_2 * \text{Tiempo}_{60}$) correspondiente al tratamiento 3 como se muestra en la tabla 22-3 siendo este el mejor tratamiento para el rendimiento en la extracción del almidón por vía húmeda ya que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Así mismo, este rendimiento obtenido tuvo un valor cercano al rendimiento de Orccottoma (2012, pp.107-112) con un valor de 21.8%.

Caracterización fisicoquímicos, organolépticas, microbiológicas y funcionales del almidón de papa china.

En la tabla 26-3 se presenta los análisis fisicoquímicos del almidón de papa china extraído por el método de vía húmeda, en donde se evaluaron los siguientes análisis bromatológicos:

En el análisis de humedad realizada por el Laboratorio (INIAP) se reportó un valor de 0.81% y su respectiva sustancia seca de 99.19%. De acuerdo con (Aristizábal & Sánchez, 2007, pp.61-98), mencionan que los almidones con >90% en sustancia seca revelan mucho tiempo de secado y el contenido de humedad se encuentra en el rango permitido ya que el porcentaje de humedad >13% indica probabilidad de contaminación por microorganismos.

El porcentaje de ceniza en el almidón de papa china fue de 0.88% \pm 0.02 fue un valor muy alto a comparación de otras investigaciones como: 0.31% \pm 0.01 (Pérez et al., 2005, pp.139-145), 0,29% \pm 0,013 (Brito et al., 2021, pp.837-848) y 0.50% \pm 0.01 (Pachau et al., 2018, pp.397-405). Este valor alto reportado se debe a la cantidad de minerales y sales presentes en el almidón y no sólo depende de la fuente botánica, sino también de los métodos de extracción de la materia prima (Pérez et al., 2005, pp.139-145; Vargas et al., 2016, pp.223-230).

El resultado obtenido en el porcentaje de fibra cruda en el almidón de papa china es de 0.7% el cual es un valor alto comparado a la investigación realizada por Cuenca y Moncada (2020, pp.54-64) obteniendo un valor de 0.09%. La investigación realizada por Torres et al. (2013, pp.52-61) reportó un valor alto de fibra obteniéndose 0.57% de fibra cruda. Por tal razón, la fibra cruda es un factor de impureza y lo cual está relacionada con el proceso de extracción (Torres et al., 2013, pp.52-61). Cabe destacar que Cobana & Antezana (2007, pp.77-83), afirma que los parámetros de pre-molienda y el tiempo de molienda para la extracción de almidón por vía seca se obtiene menor contenido de fibra. Por lo general, el almidón contiene cantidades mínimas de proteínas (Pérez et al., 2005, pp.139-145).

El porcentaje de proteína obtenido en el almidón de papa china es de 0.26% lo cual es un valor inferior comparados a otras investigaciones. Ríos (2014, p.33), reportó valores entre 1.62% a 2.00% para las 3 variedades de papa china. Mientras que Oñate (2018, pp.18-31) reportó un valor de 2.18 %. Las cantidades traza de glicéridos de ácidos grasos en el almidón, normalmente es menor del 0,1%, por lo que, en esta investigación se obtuvo un valor de 0.9% de grasa el cual es un valor inferior a los reportados por Brito et al. (2021, pp.837-848), con un valor de 0.26% y Torres et al. (2013, pp.52-61), obteniendo un valor de 0,55%. Por ende, un alto contenido de grasa puede provocar rancidez y perturbar las propiedades funcionales del almidón (Oñate, 2018, pp.18-31).

La densidad aparente del almidón empacado de papa china fue de 0.87g/mL \pm 0.003, un valor casi cercano con respecto a la densidad del almidón de maíz reportado por Pachau et al (2018, pp.397-405), dando un valor de 0.702g/mL \pm 0.03. En cambio, referente al almidón de papa china se ha encontrado valores reportados por Torres et al. (2013, pp.52-61), obteniendo una densidad 0.63g/mL y

Pachau et al (2018, pp.397-405), con $0.584 \text{ g/mL} \pm 0.04$. En cambio, la densidad real realizada mediante el picnómetro se obtuvo $1.56 \text{ g/mL} \pm 0.01$, valor que coincide con lo reportado por Aristizábal & Sánchez (2007, p.65). De acuerdo con Alvarado (2013, p.98), considera que el tamaño de partícula y la distribución del tamaño es un factor importante para la densidad de alimentos granulados y polvos.

En el análisis de pH se obtuvo 6.56 ± 0.01 con lo cual cumple con el requisito que se establece en la norma NTE INEN 1456 (1986, pp.1-2) valor que está dentro de los parámetros de pH que oscila entre 5 hasta 7.

Propiedades funcionales del almidón de la papa china

Referente a las propiedades funcionales del almidón de papa china descrito en la tabla 27-3 se obtuvo una temperatura de gelatinización de 72.5°C , sin embargo, se encontró en una referencia bibliográfica en que la temperatura de gelatinización es de 71°C (Wang & Higa, 1983, p.302). Por otro lado, en la investigación de Rentería et al. (2021, pp.702-715), determinó que la temperatura de gelatinización fue de 73°C .

En el caso del porcentaje de amilosa en el almidón de papa china se obtuvo 30.21% realizado por el Laboratorio INIAP por lo que refleja un valor similar al descrito por Pérez et al. (2005, pp.139-145), en el que obtuvo $30.62\% \pm 0.1$ de amilosa. En otras investigaciones se han encontrado % amilosa significativamente bajas reportados por Rentería et al. (2021, pp.702-715) con un valor de 13,49% y por Torres et al. (2013, pp.52-61), con un valor $20,50\% \pm 0,2$.

Por tanto, la amilosa como la amilopectina influyen de forma importante en las propiedades funcionales, sensoriales y reológicas del almidón, especialmente en la gelatinización y capacidad de hidratación de los gránulos (Salvador, 2006, pp.81-83). Por ello, significa que a altas concentraciones de amilosa se forma geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis y, por el contrario, a bajas concentraciones de amilosa producen dispersiones claras y viscosas que no gelifican (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.38).

En el análisis de índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) del almidón de la papa china se realizó a una temperatura de 60° se obtuvieron los siguientes resultados: un IAA de $1.97 \text{ g gel/g muestra} \pm 0.02$, un ISA de $1.87\% \pm 0.01$ y un PH de $1.98 \text{ H}_2\text{O/g almidón} \pm 0.02$, valores que fueron similares a los reportados por Oñate (2018, pp.18-31), con un IAA de $2.02 \text{ g gel/g muestra}$ y un PH de 2.05%, con una diferencia en el ISA con $3.66 \text{ g H}_2\text{O/g almidón}$ a la misma temperatura.

La viscosidad del almidón de papa china se lo realizó con el viscosímetro Brookfield con un resultado de $2040 \text{ mPa}\cdot\text{s (cP)} \pm 42.71$ a una temperatura de $23.1^{\circ}\text{C} \pm 0.03$ por lo que Tocagón (2018, p.76), reportó una viscosidad de $2544 \text{ Cp} \pm 117.41^{\text{a}}$ una temperatura de 25°C . De acuerdo con

Monsalvo et al. (2014, p.22), menciona que la viscosidad se reduce cuando se aumenta la temperatura y por el contrario, la viscosidad se aumenta cuando se reduce la temperatura.

Caracterización del biomaterial a partir del almidón de papa china

En la tabla 31-3 se muestran los resultados de la caracterización del biomaterial.

Espesor

En el gráfico 4-3 se muestra los resultados del espesor de los 4 tratamientos de las cajas Petri de vidrio con la ayuda del pie de rey. Obteniéndose así el espesor más bajo le corresponde al T1 con un valor de $0.12\text{mm} \pm 0.01$ con un $89.65\% \pm 0.05$ de humedad y, por otro lado, se obtuvo un espesor alto correspondiente al T4 con un valor de $0.15\text{mm} \pm 0.01$ con un $87.41\% \pm 0.02$ de humedad.

De acuerdo con la NTE INEN 2542 (2010, p.3), el bioplástico no debe sobrepasar un espesor de 0.2mm. La variación se debe a la glicerina y a la cantidad de masa que se vierte en la caja Petri de vidrio y así mismo, la cantidad de agua (% humedad) que se evapora durante el secado. En el caso del T1 se vierte $12.70\text{g} \pm 0.69$ de la muestra viscosa y en el T4 se vierte $12.57\text{g} \pm 0.55$ de la muestra viscosa.

Humedad

En el gráfico 5-3 se muestra los resultados del porcentaje de humedad del biomaterial de los 4 tratamientos. En el porcentaje de humedad se observó que hubo un incremento a medida que la concentración del plastificante aumentaba en el T1 (3.2% p/p) y T2 (4.2% p/p) del $8.99\% \pm 0.43$ al $9.78\% \pm 0.43$ de humedad respectivamente, con 6.5% p/p de almidón.

En cambio, en el T1 (3.2% p/p) y T2 (4.2% p/p) aumento del $6.74\% \pm 0.23$ al $10.53\% \pm 0.27$ del %humedad respectivamente, con 7.5% p/p de almidón. En general, las películas a partir de almidón con un aumento de la concentración del glicerol resultan ser más hidrofílicas (Sanyang et al., 2016, pp.326-336).

Esto se debe a que, el glicerol, debido a su naturaleza hidrofílica, retiene el agua en la película, por ello, a mayores concentraciones de plastificante favorecen la adsorción de moléculas de agua, lo que se atribuye a los plastificantes a formar enlaces de hidrógeno (O-H) (Cerqueira et al., 2012, pp.175-184).

Solubilidad

En el gráfico 6-3 se muestran los resultados del análisis de solubilidad en agua y se observó un aumento en el porcentaje de solubilidad de 34.43% ± 0.07 al 45.23% ± 0.07 con el aumento de concentración de glicerina del 3.2% al 4.2% respectivamente, del T1 y T2 con un 6.5% de almidón.

En cambio, en el T3 y T4 se obtuvo un valor de 30.09% ± 1.02 a 40.37% ± 1.12 aumento de concentración de glicerina del 3.2% al 4.2% respectivamente, pero con un 7.5% de almidón. Estas películas presentaron mayor solubilidad en comparación a las películas a base de almidón de arrurruz (*Maranta arundinacea*) con un valor 14,86% a 29,5 % (Tarique et al., 2021, pp.1-17).

También se han encontrado datos de la solubilidad en agua de las películas a base de almidón de patata, trigo y maíz con unos valores de 14,52 %, 30,16 % y 44,76 % respectivamente, por lo que, la solubilidad en agua está relacionada con el contenido de amilosa, es decir, cuanto mayor es el porcentaje de amilosa, mayor es el porcentaje de solubilidad (Basiak et al., 2017, pp.348-356).

Permeabilidad de vapor de agua

En el gráfico 8-3 se muestra los resultados de la permeabilidad de vapor de agua del biomaterial de los 4 tratamientos. Lo más favorable de los materiales de embalaje (envase) es que ayuden a conservar el alimento, aislándolos de influencias externas que podrían ocasionar el deterioro de este, por ello, los envases deben proporcionar barreras a la luz, los malos olores, la pérdida de sabor, los productos químicos, la transmisión de oxígeno, la transmisión de vapor de agua y la permeabilidad al vapor de agua, entre ellas, la permeabilidad al vapor de agua (WVP) es de considerable importancia para controlar la transferencia de humedad entre los alimentos y el ambiente externo lo que significa que una alta permeabilidad al vapor de agua puede provocar microorganismos que estropeen los alimentos (Dixon, 2011, p.5).

Los resultados obtenidos mostraron que a medida que la concentración de la glicerina en el T1 (3.2%p/p) y T2 (4.2%p/p) se incrementó el WVP de $0.112 \frac{g}{m \cdot h \cdot MPa} \pm 0.005$ a $0.125 \frac{g}{m \cdot h \cdot MPa}$ con 6.5%p/p de almidón de papa china y en el caso del T3 (3.2%p/p) y T4 (4.2%p/p) ± 0.005 se incrementó el WVP de $0.143 \frac{g}{m \cdot h \cdot MPa} \pm 0.003$ a $0.146 \frac{g}{m \cdot h \cdot MPa} \pm 0.005$ con 7.5%p/p de almidón de papa china.

Sin embargo, concentraciones mayores de plastificante produjeron un aumento de la permeabilidad de vapor de agua debido al carácter hidrofílico de la glicerina (López et al., 2008, pp.573-581). Por lo tanto, la permeabilidad de vapor de agua depende de la parte hidrofílica/hidrofóbica de los componentes de la película (Tarique et al., 2021, pp.1-17).

Propiedades mecánicas del biomaterial

En la tabla 32-3 se muestran los resultados tabulados sobre las propiedades mecánicas del biomaterial a partir de papa china.

La resistencia a la tracción es la capacidad de un material de resistir bajo tensión hasta su rotura y es una de las propiedades más importantes y ampliamente medidas de los materiales utilizados en aplicaciones estructurales. El alargamiento a la rotura de un material es el porcentaje de aumento de longitud que se produce antes de que se rompa bajo tensión (Cerqueira et al., 2012, pp.175-184).

En el gráfico 9-3 se muestran los resultados del análisis de la resistencia de tracción (esfuerzo máximo). Se observó una disminución significativamente de 6.36 MPa \pm 0.66 a 1.19 MPa \pm 0.18 al aumentar la concentración de glicerina de 3.2% a 4.2% con un 6.5% de almidón para el T1 y T2 respectivamente.

En cambio, para el T3 y T4 se observó una disminución significativamente en la resistencia a la tracción (esfuerzo máximo) de 5.95 MPa \pm 1.07 a 1.21 MPa \pm 0.12 al aumentar la concentración de glicerina de 3.2% a 4.2% con un 7.5% de almidón, respectivamente.

Esto se debe a la glicerina ya que, a bajas concentraciones, las moléculas del plastificante están fuertemente unidas al almidón, delimitando las interacciones almidón-almidón necesarias para absorber la energía mecánica (Muscat et al., 2012, pp.189-201). Además, algunos autores concuerdan que un aumento en las concentraciones del plastificante disminuye la resistencia a la tracción (esfuerzo máximo) de las películas a base de almidón (Hazrol et al., 2021, pp.1-22).

Estos resultados fueron inferiores en promedio a los valores reportados por las películas de almidón de taro (Tuates, 2020, pp.152-155). En cambio, los resultados fueron superiores a los reportados por las películas de almidones de yuca y ñame (Gutiérrez et al., 2015, pp.211-217).

En el gráfico 9-3 se muestran los resultados del análisis del módulo de elasticidad en el cual ocurre el mismo fenómeno a comparación con el análisis de la resistencia de tracción, es decir, se observó una disminución cuando se aumentó la concentración de la glicerina de 3.2% a 4.2%, es decir, en el caso de T1 y T2 disminuyó de 42.30 MPa \pm 2.42 a 16.43 MPa \pm 7.55 respectivamente. Mientras que en T3 y T4 disminuyó de 59.50 MPa \pm 10.75 a 13.58 MPa \pm 5.1.

Estos resultados fueron superiores a los valores reportados por las películas de almidón de taro (Puraca et al., 2021, pp.1-18), almidón de maíz (Hazrol et al., 2021, pp.1-22), almidones de yuca y ñame (Gutiérrez et al., 2015, pp.211-217).

En el gráfico 9-3 se muestran los resultados del análisis del porcentaje de elongación y se observó un incremento en el T1 con un 15% \pm 0.71 a comparación con el T2 con un valor de 8.57% \pm 2.86, en cambio en el T3 y T4 hubo resultados similares de elongación con valores de 10% \pm 0 y 10% \pm 2.86 respectivamente. Estos resultados pueden deberse a relación con la variación del espesor de la película, es decir, el aumento de la elongación se debe al aumento del espesor, por ello, las

películas con mayor espesor requieren más fuerza para romperse y por ende, mayor alargamiento (Galdeano et al., 2013, pp.637-644). Estos resultados fueron inferiores a los valores reportados por las películas de almidón de taro (Tuates, 2020, pp.152-155), las películas de almidones de yuca y ñame (Gutiérrez et al., 2015, pp.211-217).

Pruebas de biodegradación

En el análisis de la biodegradación por entierro del suelo para las películas plastificadas con 3.2% y 4.2% de concentración de glicerol y 6.5% y 7.5% de concentración de almidón de papa china en un periodo de 16 días, como se muestra en la tabla 35-3. Se observó que hubo un incremento en la pérdida de área durante ese lapso con una humedad relativa del suelo alta, el porcentaje de biodegradación en los tratamientos T1 y T2 fue del 73.18% y el 94.26%, respectivamente, mientras los tratamientos T3 y T4 fue del 55.13% y el 64.09%, respectivamente.

También se notó que la descomposición de las películas T1 y T2 fueron mayores que las películas T3 y T4 en el transcurso de los 16 días. De acuerdo con (González & Alvarez, 2013, pp.289-296), existe una relación entre el contenido de humedad y la actividad microbiana del suelo ya que en su anterior investigación alcanzó una biodegradación en 19 días con una humedad relativa alta con un valor de 48% \pm 4.

En el análisis de la biodegradación en el agua para las películas plastificadas con 3.2% y 4.2% de concentración de glicerol y 6.5% y 7.5% de concentración de almidón de papa china en un periodo de 44 días, como se muestra en la tabla 33-3. Se observó que hubo un aumento en la pérdida de área durante ese lapso desprendiendo fragmentos de textura pegajosa.

El porcentaje de biodegradación en los tratamientos T1 y T2 fue del 44.12% y el 38.89%, respectivamente, mientras los tratamientos T3 y T4 fue del 39.42% y el 32.79%, respectivamente. También se notó que la desintegración de las películas T1 y T2 fueron mayores que las películas T3 y T4 en el transcurso de los 44 días.

En el análisis de la biodegradación en el ambiente para las películas plastificadas con 3.2% y 4.2% de concentración de glicerol y 6.5% y 7.5% de concentración de almidón de papa china en un periodo de 36 días, como se muestra en la tabla 34-3. Se observó que la pérdida de área durante ese lapso era demasiado lenta a comparación de las condiciones del agua y el suelo. El porcentaje de biodegradación en los tratamientos T1 y T2 fue del 14.93% y el 16.02%, respectivamente, mientras los tratamientos T3 y T4 fue del 13.85% y el 9.04%, respectivamente.

También se notó que no hubo crecimiento de microorganismos y que los porcentajes de biodegradación de las películas T1 y T2 fueron superiores que las películas T3 y T4 en el transcurso de los 36 días.

3.5. Prueba de hipótesis

Hipótesis 1

El almidón se puede extraer de la papa china (Colocasia esculenta) mediante el proceso de la extracción por vía húmeda.

El gráfico 1-3 representa el rendimiento de los 4 tratamientos estipulando un promedio con sus 4 repeticiones con la ayuda de un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente un análisis TUKEY en el programa Minitab 19 para la comparación de los dos factores RPM vs Tiempo con una confianza del 95%. Por ello, el resultado con mejor rendimiento obtenido es de 19.99% correspondiente al tratamiento (T3) mediante el proceso de extracción por vía húmeda. Por tal razón, se acepta la hipótesis acotando que si se puede extraer almidón.

Hipótesis 2

La caracterización de las propiedades físicas-químicas del proceso de extracción del almidón presentan propiedades de calidad dentro de los parámetros establecidos lo que lo hace apta para la obtención de almidón y posteriormente utilizarla para la producción de un biomaterial ecológico.

En la tabla 26-3 se muestra los resultados de la caracterización del almidón que son: la humedad, sustancia seca, ceniza, solubilidad, fibra crida, proteína, grasa, pH, densidad y tamaño de partícula. Por otro lado, en la tabla 41.3 se muestra los resultados de las propiedades funcionales del almidón que son: la amilosa, amilopectina, viscosidad, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y el poder de hinchamiento.

En la tabla 23-3 se muestran las características organolépticas como: color, olor, sabor y textura. Finalmente, en la tabla 25-3 se muestra los análisis microbiológicos las cuales presentaron ausencia de microorganismos. Dicho anteriormente se puede deducir que se cumplieron con satisfacción todos los parámetros del almidón de papa china para su uso como un biomaterial ecológico y, por ende, se acepta la hipótesis.

Hipótesis 3

La elaboración del protocolo es muy eficaz y factible para la producción del biomaterial a partir de la extracción del almidón de la papa china con la utilización del método casting para determinar concentraciones óptimas de los reactivos y así establecer las condiciones apropiadas para el proceso.

Para la elaboración del protocolo en la producción de un biomaterial a partir de la extracción de almidón de papa china (figura 8-2) se usó el método casting optando la metodología del diseño factorial 2^2 cuyos factores a considerar fueron: la glicerina y el almidón representados por el nivel bajo (-) y el nivel alto (+) en cada uno (tabla 15-2). Por tanto, se generó una matriz con los datos a utilizarse en este proyecto de investigación (tabla 16-2). Por lo cual aplicando el método casting se consiguió satisfactoriamente las películas obteniéndose diferentes valores con respecto a su caracterización, por ende, se acepta la hipótesis.

Hipótesis 3

La caracterización del biomaterial obtenido a partir de la papa china presenta características de calidad para el uso de embalaje en alimentos. que son validadas por las normas ASTM D882 y ASTM D1653-93.

Las características del biomaterial obtenido por el método casting fueron: fácil moldeo, se formó la película, si hubo transparencia, y bastante estabilidad (tabla 30-3). Con respecto a las propiedades de tracción como: resistencia a la tensión, módulo de elasticidad y porcentaje de elongación, fueron regidas por la norma ASTM D 882-18 y la permeabilidad de vapor de agua fue regida por la norma ASTM D1653-93 (tabla 31-3).

Por ello, se obtuvo un biomaterial para el uso de embalaje en alimentos con similares características a comparación de otros bioplásticos como se mencionaron en la discusión. Por ende, se acepta la hipótesis.

CONCLUSIONES

El rendimiento óptimo para la extracción almidón por el método de vía húmeda corresponde al tratamiento 3 (T3) obteniéndose 19.99% y una desviación estándar de ± 0.27 con 20000 revoluciones por minuto (RPM_2) en un tiempo de 60 segundos.

Se realizó la caracterización fisicoquímica del almidón con un 0.81% de humedad, 99.19% de sustancia seca, 0.88% de ceniza, 6.56 de pH, 1.56g/mL de densidad real y un 0.87g/mL de densidad aparente.

Asimismo, el almidón tuvo una solubilidad en agua caliente, además, se obtuvo un 30.21% de amilosa, 69.79% de amilopectina, 2040 mPa*s de viscosidad a la temperatura de 23.1°C, una temperatura de gelatinización de 72.5°C, 1.97 g gel/g muestra como índice de absorción de agua (IAA), 1.87% de solubilidad en agua (ISA) y un 1.98 g H₂O/g almidón como poder de hinchamiento (PH).

Luego de realizar los análisis microbiológicos se determinó la usencia de microorganismos (0 UFC/g) en aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*), mohos y levaduras.

Luego del análisis correspondiente se determinó que el mejor protocolo para la producción del biomaterial biodegradable mediante el método casting, se trabajó con: 2.3g (6.5% p/p) de almidón, 0.9mL (3.2% p/p) de glicerina, 30mL (84.5% p/p) de agua destilada y 2mL (5.8% p/p) de ácido acéticos, estableciendo que el tratamiento 1 (T1) es el más adecuado.

Se realizó la caracterización físico mecánicas del biomaterial biodegradable determinando los siguientes parámetros: un espesor de 0.12mm, 8.99% de humedad, 34.43% de solubilidad y una permeabilidad de vapor de agua (PVW) de 0.11 g/mhMPa, así como, una carga máxima de 14.20N, un esfuerzo máximo de 6.36MPa, un módulo de elasticidad de 42.30MPa y un porcentaje de elongación de 15.00%.

También, se determinó que el tratamiento 1 (T1) es el más apropiado en cuanto a su biodegradación, obteniéndose, un 44.12% en el agua, 14.93% en el ambiente y un 73.18% en el suelo.

RECOMENDACIONES

Para la elaboración del biomaterial (película), el almidón debe tener una granulometría de 63um-53um con la finalidad de evitar gránulos grandes en la mezcla.

Cuando se aplica el método casting, el vertido de la muestra en la caja Petri se debe tomar en cuenta una superficie plana (sin inclinación) con la finalidad de obtener un secado uniforme en la película.

Para mejorar las propiedades mecánicas del biomaterial de la papa china o de otro bioplástico se recomienda usar aditivos adicionales como: el alcohol polivinílico (15%), carboximetilcelulosa (CMC), bentonita (1.5%), butanodiol, nanopartículas de dióxido de titanio (7%) y solución de grafeno.

Para reducir el contenido de humedad en el biomaterial (bioplástico), se recomienda usar el sorbitol como plastificante ya que minimiza la interacción de las moléculas de agua dentro de la película.

Se puede usar el método soplado por extrusión (extrusion blowing) en la elaboración de películas a base de almidón ya que es un método continuo, eficiente y comercial como una alternativa al método casting (Gao et al., 2021, pp.1-10).

GLOSARIO

Bioplásticos: Se refiere a plásticos que son biodegradables y tienen la posibilidad de ser degradables, pero se producen a partir de materiales biológicos o materias primas renovables, como: almidón, celulosa, aceites y grasas vegetales (Tokiwa et al., 2009, p.3723).

Molienda: El objetivo es la disminución del tamaño de partícula mediante una desintegración mecánica (Brito, 2000, p.28-33). A nivel de laboratorio se usó el mortero y pistilo.

Tamizado: El objetivo es separar las fracciones que componen un sólido granular o polvo utilizando los equipos denominados cribas o tamices por medio de los diferentes tamaños de las partículas que presenta el sólido (Brito, 2000, p.28-33).

Secado: El objetivo es la separación total o parcialmente del líquido que contiene un sólido húmedo mediante evaporización en una corriente gaseosa eliminando la humedad contenida en este, lo cual, implica la transferencia de calor y masa simultáneamente (Brito, 2001b, p.16).

Filtración: El objetivo es separar las partículas sólidas suspendidas en un líquido (sólidos con diámetro grandes) por un medio filtrante poroso de tal manera que el sólido queda retenido y el líquido pasa (Brito, 2001a, pp.24-44).

Agitación/mezclado: Son utilizados en los laboratorios y en las empresas industriales para facilitar la obtención de diversos productos. Tienen como finalidad de obtener una mezcla homogénea mediante movimientos violentos e irregulares dentro de la muestra. Además, si el fluido es único se trata de una agitación propiamente dicha, de lo contrario, si son dos o más componentes se denomina mezclado (Brito, 2001a, pp.24-44).

Sedimentación: El objetivo es separar las partículas de un fluido (agua) con el fin de recuperar las partículas sólidas (almidón) en un determinado tiempo mediante la gravedad (McCabe et al., 2007, p.1107).

BIBLIOGRAFÍA

ABDOLRAHIMI, Maryam, SEIFI, Majid & RAMEZANZADEH, Mohammad Hassan. Study the effect of acetic acid on structural, optical and mechanical properties of PVA/chitosan/MWCNT films. *Chinese Journal of Physics*, 2018. vol. 56, no. 1, pp. 221-230. ISSN 0577-9073. DOI 10.1016/J.CJPH.2017.12.018.

ADAMS, M.R. Vinegar. *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition*, 2014. pp. 717-721. DOI 10.1016/B978-0-12-384730-0.00348-7.

AGUSTIN, Melissa B., AHMMAD, Bashir, ALONZO, Shanna Marie M. & PATRIANA, Famille M. Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw: *Journal of Reinforced Plastics and Composites* [en línea], 2014. vol. 33, no. 24, pp. 2205-2213. [Consulta: 11 enero 2022]. ISSN 15307964. DOI 10.1177/0731684414558325. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0731684414558325>.

AGWUNOBI, L.N., AWUKAM, P.O., CORA, O.O. & ISIKA, M.A. Studies on the use of *Colocasia esculenta* (taro cocoyam) in the diets of weaned pigs. *Tropical Animal Health and Production*, 2002. vol. 34, pp. 245.

ALVARADO, Juan de Dios, *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos* [en línea]. 2. Ambato: s.n. 2013. [Consulta: 25 enero 2022]. ISBN 978-9942-11-507-2. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/302119863_Principios_de_Ingenieria_Aplicados_en_Alimentos_2da_ed.

ANDERSON, R. A., CONWAY, H. F. & PEPLINSKI, A. J. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke* [en línea], 1970. vol. 22, no. 4, pp. 130-135. [Consulta: 23 noviembre 2021]. ISSN 1521-379X. DOI 10.1002/STAR.19700220408. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/star.19700220408>.

ARISTIZÁBAL, Johanna & SÁNCHEZ, Teresa. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. [en línea], 2007. Roma: [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.

ASHOK, A., REJEESH, C. & RAVINDRANATHAN, Renith. Biodegradable Polymers for Sustainable Packaging Applications: A Review. *International Journal of Bionics and Biomaterials* [en línea], 2016. vol. 2, no. 2, pp. 4. [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318531449_Biodegradable_Polymers_for_Sustainable_Packaging_Applications_A_Review.

ASHTER, Syed. *Introduction to Bioplastics Engineering*. S.l.: William Andrew. 2016. ISBN 978-0-323-39396-6.

ASHTER, Syed Ali. Introduction. *Introduction to Bioplastics Engineering* [en línea]. S.l.: Elsevier, pp. 1-17. 2016. [Consulta: 2 noviembre 2021]. ISBN 9780323393966. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780323393966/introduction-to-bioplastics-engineering#book-description>.

ASTM, D1653-93. *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films*. *ASTM International* [en línea], 1999. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: www.astm.org.

ASTM D882-18. *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. *American Society for Testing and Materials* [en línea], 2018. [Consulta: 6 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.astm.org/d0882-18.html>.

ATIWESH, Ghada, MIKHAEL, Abanoub, PARRISH, Christopher C., BANOUB, Joseph & LE, Tuyet-Anh T. Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon* [en línea], 2021. vol. 7, no. 9, pp. 3. [Consulta: 2 noviembre 2021]. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/J.HELIYON.2021.E07918. Disponible en: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021020211](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021020211).

BASIAK, Ewelina, LENART, Andrzej & DEBEAUFORT, Frédéric. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017. vol. 98, pp. 348-356. ISSN 0141-8130. DOI 10.1016/J.IJBIOMAC.2017.01.122.

BBC. «Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina»: la advertencia de un grupo científicos sobre la contaminación que acecha al nuestro planeta - BBC News Mundo. [en línea], 2017. [Consulta: 2 octubre 2021]. Disponible en:

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-40664725>.

BRADBURY, D. & HOLLOWAY, W. *Chemistry of Tropical Root Crops: Significance for Nutrition and Agriculture in the Pacific* [en línea]. Melbourne: s.n. 1982. [Consulta: 12 agosto 2021]. ISBN 0949511617. Disponible en: https://aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/node/2267/mn6_pdf_18359.pdf.

BRITO, Hannibal. *Texto básico de operaciones unitarias I* [en línea]. S.l.: s.n. 2000. [Consulta: 13 enero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673724_Texto_Basico_de_Operaciones_Unitarias_I.

BRITO, Hannibal. *Texto básico operaciones unitarias II* [en línea]. Riobamba: s.n. 2001a. [Consulta: 14 enero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315778840_Texto_Basico_Operaciones_Unitarias_II.

BRITO, Hannibal. *Texto básico operaciones unitarias III* [en línea]. S.l.: s.n. 2001b. [Consulta: 14 enero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673664_TEXTO_BASICO_DE_OPERACIONES_UNITARIAS_III.

BRITO, Hannibal, CHUIZA, Marco & HARO, Carla. Identificación de las variables de proceso óptimas para la producción del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) Identification of the optimal process variables for the production Of chinese potato starch (*Colocasia esculenta*). *Dominio de las Ciencias*, 2021. vol. 7, no. 1, pp. 837-848. ISSN 2477-8818. DOI <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1680>.

CAICEDO, Willan. Tubérculos de papa china (*colocasia esculenta* (L.) schott) como una fuente energética tropical para alimentar cerdos. una reseña corta sobre las características de la composición química y de los factores antinutricionales. *Computadorizada de Producción Porcina* [en línea], 2013. vol. 20, no. 1, pp. 279. [Consulta: 14 septiembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325995741_TUBERCULOS_DE_PAPA_CHINA_Colocasia_esculenta_L_Schott_COMO_UNA_FUENTE_ENERGETICA_TROPICAL_PARA_ALIMENTAR_CERDOS_UNA_RESENA_CORTA_SOBRE_LAS_CARACTERISTICAS_DE_LA_COMPOSICION_QUIMICA_Y_DE_LOS_FACTORES_A.

CAMPBELL, Mary & FARRELL, Shawn. *Biochemistry*. 7. Canada: Brooks/Cole, Cengage Learning. 2012. ISBN 978-0-8400-6858-3.

CAMPUZANO, Juan, LÓPEZ, Iván & ÁLVAREZ, Catalina. Normativas y regulaciones para polímeros biodegradables y compostables. [en línea], 2018. [Consulta: 3 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.plastico.com/temas/Normativas-y-regulaciones-para-polimeros-biodegradables-y-compostables+126663>.

CERQUEIRA, Miguel A., SOUZA, Bartolomeu W.S., TEIXEIRA, José A. & VICENTE, António A. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films – A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 2012. vol. 27, no. 1, pp. 175-184. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/J.FOODHYD.2011.07.007.

CHARIGUAMÁN, Jimmy. *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)* [en línea]. Honduras: 2015. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4560>.

CLARINVAL, Anne-Marie & HALLEUX, Jacques. *Biodegradable polymers for industrial applications*. S.l.: Woodhead, CRC Press. 2005. ISBN 0-8493-3466-7.

COBANA, M. & ANTEZANA, R. Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de Química* [en línea], 2007. pp. 77-83. [Consulta: 13 diciembre 2021]. ISSN 0250-5460. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4263/426339669014.pdf>.

COURSEY, D. The Edible Aroids. *World Crops*. . S.l.: s.n., pp. 25-30. 1968.

CROMTEK. Picnómetro: Cómo se utiliza para medir densidades . [en línea], 2020. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://www.cromtek.cl/2020/09/11/como-medir-densidades-con-un-picnometro/>.

CUENCA, Michelle & MONCADA, Marjorie. *Preparación de un recubrimiento comestible a base del almidón de papa china (colocasia esculenta) para aplicaciones alimenticias* [en línea]. S.l.: 2020. Universidad Técnica de Machala. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15583>.

DE MORAES, Jaqueline Oliveira, SCHEIBE, Ana Silvia, SERENO, Alberto y LAURINDO, João Borges. Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. *Journal of Food Engineering*, 2013. vol. 119, no. 4, pp. 800-808. ISSN 0260-8774. DOI 10.1016/J.JFOODENG.2013.07.009.

DIXON, John. Packaging Materials 9. Multilayer Packaging for food and Beverages . *ILSI Europe* [en línea], 2011. pp. 5. [Consulta: 16 diciembre 2021]. Disponible en: <https://ilsi.eu/wp-content/uploads/sites/3/2016/06/ILSI-11-011-9-pack-03.pdf>.

ESCOBAR, Daniela, SALA, Angelina, SILVERACARLOS, HARSIBE, Rodrigo & MÁRQUEZ, R. 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. *Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay* [en línea], 2011. pp. 2. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277739102_Peliculas_biodegradables_y_comestibles_desarrolladas_en_base_a_aislado_de_proteinas_de_suero_lacteo_estudio_de_dos_metodos_de_elaboracion_y_del_uso_de_sorbato_de_potasio_como_conservador.

ESCOBAR, José, GONZÁLEZ, Juan, HERRERA, Byron, LEMA, Nancy, VILLACIS, Jomira, REINOSO, Maite, CASCO, Gladys & VALAREZO, Izamar. Industrialización de la papa china Colocasia esculenta (L.) Schott con recubrimiento de chocolate en la provincia de Pastaza. *Revista socioambiental de la Amazonía Ecuatoriana* [en línea], 2015. pp. 18. [Consulta: 11 octubre 2021]. ISSN 1390-6801. Disponible en: https://www.uea.edu.ec/wp-content/uploads/2018/07/vol_13_articulo_3.pdf.

ESPITIA, Paula J., DU, Wen Xian, AVENA, Roberto de Jesús, SOARES, Nilda de Fátima & MCHUGH, Tara H. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 2014. vol. 35, pp. 287-296. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/J.FOODHYD.2013.06.005.

ESTRATEGIAS & NEGOCIOS. La industria de plástico en seis cifras claves que aseguran su permanencia - Revista Estrategia & Negocios. [en línea], 2018. [Consulta: 3 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.estrategiaynegocios.net/centroamericaymundo/1196205-330/la-industria-de-plástico-en-seis-cifras-claves-que-aseguran-su-permanencia>.

FERRÉ, Joan. El diseño factorial completo 2k. [en línea], 2002. S.l.: [Consulta: 12 octubre 2021]. Disponible en: <http://www.quimica.urv.es/quimio/general/doecast.pdf>.

FIGUEROA, Yadelys, MILIÁN, Marilys & RODRÍGUEZ, Yuniel. Mejoramiento, conservación y diversidad genética de la malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.) en Cuba. *SciELO* [en línea], 2019. vol. 40, no. 2, pp. 3-4. [Consulta: 12 diciembre 2020]. ISSN 1819-4087. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000200009#B5.

GALDEANO, Melicia, WILHELM, Allan, MALI, Suzana & GROSSMANN, Maria Victória. Influence of thickness on properties of plasticized oat starch films. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2013. vol. 56, no. 4, pp. 637-644. ISSN 1516-8913. DOI 10.1590/S1516-89132013000400014.

GAO, Wei, ZHU, Jie, KANG, Xuemin, WANG, Bin, LIU, Pengfei, CUI, Bo & ABD EL-ATY, A.M. Development and characterization of starch films prepared by extrusion blowing: The synergistic plasticizing effect of water and glycerol. *LWT*, 2021. vol. 148, pp. 1-10. ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/J.LWT.2021.111820.

GARCÍA, Sergio. Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Rev. Iberoam. Polim.* S.l., 2009.

GIRONI, F. & PIEMONTE, Vincenzo. Bioplastics and petroleum-based plastics: Strengths and weaknesses. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* [en línea], 2011. vol. 33, no. 21, pp. 1949-1959. [Consulta: 11 enero 2022]. ISSN 15567036. DOI 10.1080/15567030903436830. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233135576_Bioplastics_and_Petroleum-based_Plastics_Strengths_and_Weaknesses.

GONÇALVES DE MOURA, Isabel, VASCONCELOS DE SÁ, Arsénio, LEMOS MACHADO ABREU, Ana Sofia & ALVES MACHADO, Ana Vera. Bioplastics from agro-wastes for food packaging applications. *Food Packaging* [en línea]. S.l.: Elsevier, pp. 223-263. 2017. [Consulta: 16 noviembre 2021].

GONTARD, Nathalie, DUCHEZ, Christophe, CUQ, Jean-Louis & GUILBERT, Stéphane. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science & Technology* [en línea], 1994. vol. 29, no. 1, pp. 41. [Consulta: 18 noviembre 2021]. ISSN 1365-2621. DOI 10.1111/J.1365-2621.1994.TB02045.X. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>.

GONZÁLEZ, Agustín & ALVAREZ, Cecilia. Soy protein – Poly (lactic acid) bilayer films as biodegradable material for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 2013. vol. 33, no. 2, pp. 289-296. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/J.FOODHYD.2013.03.010.

GRACE, M. *Elaboración de la yuca*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997.

GUTIÉRREZ, Humberto & DE LA VARA SALAZAR, Román. *Análisis y diseño de experimentos* [en línea]. 2da. S.l.: McGraw-Hill. 2008. [Consulta: 4 noviembre 2021]. ISBN 978-970-10-6526-6. Disponible en: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf.

GUTIÉRREZ, Tomy. *Polymers for Food Applications*. S.l.: Springer International Publishing. 2018. ISBN 978-3-319-94624-5.

GUTIÉRREZ, Tomy, TAPIA, María Soledad, PÉREZ, Elevina & FAMÁ, Lucía. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocolloids*, 2015. vol. 45, pp. 211-217. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/J.FOODHYD.2014.11.017.

HAZROL, M.D., SAPUAN, S.M., ZAINUDIN, E.S., ZUHRI, M.Y.M. & WAHAB, N.I. Abdu. Corn Starch (*Zea mays*) Biopolymer Plastic Reaction in Combination with Sorbitol and Glycerol. *Polymers*, 2021. vol. 13, no. 2, pp. 1-22. ISSN 2073-4360. DOI 10.3390/POLYM13020242.

HUNT, Kathy. ASTM International - Hacia un mundo más sostenible. [en línea], 2019. [Consulta: 3 octubre 2021]. Disponible en: <https://sn.astm.org/spanish/?q=features/hacia-un-mundo-más-sostenible-ma19.html>.

INEC. Boletín Técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2020. [en línea], 2021. S.l.: [Consulta: 4 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.

ISI 17. *Determination of Viscosity of Starch by Brookfield.* International Starch Institute [en línea], 2002. [Consulta: 23 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.starch.dk/isi/methods/17brookfield.htm>.

ISI 26-5E. *International Starch Institute: ISI 26 Determination of pH in Starch and Hydrolysates.* Science Park Aarhus, Dinamarca [en línea], 1999. [Consulta: 13 enero 2022]. Disponible en: <http://www.starch.dk/ISI/methods/26ph.htm>.

KARAN, Hakan, FUNK, Christiane, GRABERT, Martin, OEY, Melanie & HANKAMER, Ben. Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 2019. vol. 24, no. 3, pp. 237-249. ISSN 1360-1385. DOI 10.1016/J.TPLANTS.2018.11.010.

LABEAGA, Aitziber. Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. [en línea], 2018. S.l.: [Consulta: 11 diciembre 2021]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf.

LIM, Woo Su, OCK, Seok Young, PARK, Geum Duck, LEE, Il Woo, LEE, Min Hyeock & PARK, Hyun Jin. Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020. vol. 26, pp. 1-7. ISSN 2214-2894. DOI 10.1016/J.FPSL.2020.100556.

LÓPEZ, Olivia V., GARCÍA, María A. & ZARITZKY, Noemí E. Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydrate polymers*, 2008. vol. 73, no. 4, pp. 573-581. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/J.CARBPOL.2007.12.023.

LÖRCKS, Jürgen. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polymer Degradation and Stability*, 1998. vol. 59, no. 1-3, pp. 247. ISSN 0141-3910. DOI 10.1016/S0141-3910(97)00168-7.

LUBIS, Maulida, HARAHA, Mara, GINTING, Hendra, MAYSARAH, Siti & GANA, Arif. Short Communication: The effect of ethylene glycol as plasticizer against mechanical properties of bioplastic originated from jackfruit seed starch and cocoa pod husk. *Nusantara Bioscience* [en línea], 2018. vol. 10, no. 2, pp. 76-80. [Consulta: 6 enero 2022]. ISSN 2087-3956. DOI 10.13057/NUSBIOSCI/N100202. Disponible en: <https://smujo.id/nb/article/view/2654>.

MARQUES, A.P., REIS, R.L. & HUNT, J.A. The biocompatibility of novel starch-based polymers and composites: in vitro studies. *Biomaterials*, 2002. vol. 23, no. 6. ISSN 0142-9612. DOI 10.1016/S0142-9612(01)00272-1.

MCCABE, Warren L., SMITH, Julian C. & HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7. México: McGraw-Hill/Interamericana. 2007. ISBN 978-970-10-6174-9.

MCEWAN, R. *Colocasia esculenta*. S.l.: 2008. University of Zululand.

MEKONNEN, Tizazu, MUSSONE, Paolo, KHALIL, Hamdy & BRESSLER, David. Progress in bio-based plastics and plasticizing modifications. *Journal of Materials Chemistry A*, 2013. vol. 1, no. 43, pp. 13379-13398. ISSN 20507488. DOI 10.1039/C3TA12555F.

MELTON, Laurence, SHAHIDI, Fereidoon & VARELIS, Peter. *Encyclopedia of Food chemistry*. 1. S.l.: Elsevier. 2019. ISBN 978-0-12-814026-0.

MEZA, Paola, QUIPUZCO, Lawrence & MEZA, Victor. Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* [en línea], 2019. vol. 22, pp. 68-69. [Consulta: 16 noviembre 2021]. ISSN 1561-0888. Disponible en: https://redib.org/Record/oai_articulo2546943-elaboración-de-bioplásticos-y-determinación-de-su-biodegradabilidad--proyecto-de-laboratorio.

MIYASAKA, Susan, OGOSHI, Richard, TSUJI, Gordon & KODANI, Leslie. Site and Planting Date Effects on Taro Growth: Comparison with Aroid Model Predictions. *Agronomy Journal* [en línea], 2003. vol. 95, pp. 1-2. [Consulta: 13 diciembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237745249_Site_and_Planting_Date_Effects_on_Taro_Growth_Comparison_with_Aroid_Model_Predictions.

MONSALVO, Raúl, MIRANDA, Ma. Guadalupe, ROMERO, Ma. del Rocío & MUÑOZ, Graciela. *Balance de materia y energía. Procesos industriales* [en línea]. 1. México: Grupo Editorial Patria. 2014. ISBN 978-607-438-895-4. Disponible en: <https://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/Balance de materia y energía. Procesos industriales.pdf>.

MONTALDO, Álvaro. *Cultivo de raíces y tubérculos tropicales* [en línea]. 2. Costa Rica: Servicio Editorial del instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1991. [Consulta: 6 marzo 2022]. ISBN 92-9039-165-0. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B4130e/B4130e.pdf>.

MÜLLER, Carmen M.O., LAURINDO, João Borges & YAMASHITA, Fabio. Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 2009. vol. 23, no. 5, pp. 1328-1333. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/J.FOODHYD.2008.09.002.

MÜLLER, Christin, TOWNSEND, Kathy & MATSCHULLAT, Jörg. Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles. *Science of The Total Environment* [en línea], 2012. vol. 416, pp. 464-467. [Consulta: 16 diciembre 2021]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2011.10.069. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969711012630>.

MURRAY, Roberto, BENDER, David, BOTHAM, Kathleen, RODWELL, Victor & WEIL, Anthony. *Harper: bioquímica ilustrada*. 28. S.l.: McGraw-Hill. 2010. ISBN 978-0-07-162591-3.

MUSCAT, D., ADHIKARI, B., ADHIKARI, R. & CHAUDHARY, D.S. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *Journal of Food Engineering*, 2012. vol. 109, no. 2, pp. 189-201. ISSN 0260-8774. DOI 10.1016/J.JFOODENG.2011.10.019.

NARANJO, Verónica. El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo - Lo cotidiano está ligado a los plásticos. *Lo cotidiano está ligado a los plásticos* . [en línea], 2019. [Consulta: 2 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/plasticos-contaminacion-ecuador>.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. Compound Summary for CID 176, Acetic acid. *PubChem* [en línea], 2022a. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetic Acid#section=Density](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetic%20Acid#section=Density).

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. Compound Summary for CID 753, Glycerol. *PubChem* [en línea], 2022b. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glycerol>.

NTE INEN-ISO 1666. *Almidones y féculas. determinación del contenido humedad. método de desecación en estufa. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA* [en línea], 2014. [Consulta: 22 octubre 2021]. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1666.pdf.

NTE INEN 1456. *Reactivos para análisis. Almidón soluble (para iodometría). Métodos de ensayo. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)* [en línea], 1986. [Consulta: 22 noviembre 2021]. Disponible en: <https://archive.org/details/ec.nte.1456.1986/page/n3/mode/2up>.

NTE INEN 2542. *Láminas plásticas. Requisitos.* [en línea], 2010. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: <https://archive.org/details/ec.nte.2542.2010/page/n5/mode/2up>.

OÑATE, Lizbeth. *Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (Fragaria x ananassa Duchesne) en base a almidón de papa china (Colocasia esculenta Schott) de la variedad blanca* [en línea]. Ambato: 2018. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos. [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28391>.

ORCCOTTOMA, Francisco. Fitogeografía e industrialización del almidón de pituca (*Colocasia esculenta*). *Espacio y Desarrollo* [en línea], 2012. vol. 24, no. 24, pp. 107-112. [Consulta: 20 noviembre 2021]. ISSN 1016-9148. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5339562>.

OYENUGA, V. *Nigeria's Foods and Feeding Stuffs.* University of Ibadan Press. . Ibadan: s.n., pp. 99. 1968.

PACHUAU, Laldusanga, DUTTA, Rajat Subhra, DEVI, Takhellambam Bidyapati, DEKA, Dhitashree & HAUZEL, Lalhlenmawia. Taro starch (*Colocasia esculenta*) and citric acid modified taro starch as tablet disintegrating agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018. vol. 118, pp. 397-405. ISSN 18790003. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.086.

PÉREZ, Elevina, SCHULTZ, Forrest S. & DE DELAHAYE, Emperatriz Pacheco. Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocassia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers*, 2005. vol. 60, no. 2, pp. 139-145. ISSN 01448617. DOI 10.1016/J.CARBPOL.2004.11.033.

PILLA, Srikanth. *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. S.l.: John Wiley & Sons. 2011. ISBN 978 0-470-62607-8.

PURACA, Emely, DURAND, Flor & HERRERA, Victor. *Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (Colocasia Esculenta)* [en línea]. Lima: 2021. Universidad Peruana Unión. [Consulta: 5 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4825>.

RAE. tubérculo. *Diccionario de la Real Academia Española* [en línea], 2022. [Consulta: 4 marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/tubérculo>.

RAY, Suprakas Sinha & BOUSMINA, Mosto. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. *Progress in Materials Science* [en línea], 2005. vol. 50, no. 8, pp. 988. [Consulta: 2 noviembre 2021]. ISSN 0079-6425. DOI 10.1016/J.PMATSCI.2005.05.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079642505000320?via%3Dihub>.

RENTERÍA, Alejandra, BAÑO, Dario, PAREDES, Armando y LÓPEZ, Sandra. Obtención de fécula de papa china (*colocasia esculenta*) mediante tres métodos de extracción. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 2021. vol. 6, no. 8, pp. 702-715. ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/pc.v6i8.

RÍOS, Karina. *Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (colocasia antiquorum y colocasia esculenta) cultivadas en el estado de Oaxaca* [en línea]. Oaxaca: 2014. Universidad Tecnológica

de la Mixteca. [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/12223.pdf.

ROSS, Gareth, ROSS, Sukunya & TIGHE, Brian J. Bioplastics: new Routes, new Products. *Brydson's Plastics Materials*. 8. S.l.: Butterworth-Heinemann, pp. 632. 2017. ISBN 9780323358248.

SAHA, Tilottoma, HOQUE, Md Enamul & MAHBUB, Tariq. Biopolymers for Sustainable Packaging in Food, Cosmetics, and Pharmaceuticals. En: F.M. AL-OQLA y S.M. SAPUAN (eds.), *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers*. S.l.: Elsevier, pp. 204. 2020. ISBN 978-0-12-819661-8.

SALVADOR, Badui. *Química de los alimentos*. 4. México: Pearson Educación. 2006. ISBN 970-26-0670-5.

SÁNCHEZ, Manuela, SÁNCHEZ, María & PINTO, Gabriel. Reactivo de Lugol: Historia de su descubrimiento y aplicaciones didácticas. *Educación química* [en línea], 2013. vol. 24, no. 1, pp. 31-36. [Consulta: 16 enero 2022]. ISSN 0187-893X. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2013000100006.

SANYANG, M.L., SAPUAN, S.M., JAWAID, M., ISHAK, M.R. & SAHARI, J. Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (arenga pinnata) starch for food packaging. *Journal of food science and technology*, 2016. vol. 53, no. 1, pp. 326-336. ISSN 0022-1155. DOI 10.1007/S13197-015-2009-7.

SCARFATO, Paola, DI MAIO, Luciano & INCARNATO, Loredana. Recent advances and migration issues in biodegradable polymers from renewable sources for food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015. vol. 132, no. 48, pp. 1-11. ISSN 10974628. DOI 10.1002/APP.42597.

SCHEIBE, Ana S., DE MORAES, Jaqueline O. & LAURINDO, João B. Production and Characterization of Bags from Biocomposite Films of Starch-Vegetal Fibers Prepared by Tape Casting. *Journal of Food Process Engineering*, 2014. vol. 37, no. 5, pp. 482-492. ISSN 1745-4530. DOI 10.1111/JFPE.12105.

SCOTT, Gerald. *Degradable Polymers: Principles and Applications*. 2. S.l.: Springer, Dordrecht. 2002. ISBN 978-94-017-1217-0.

SOLOMONIDES, Evan. Biodegradable bioplastic compositions and methods of making and using the same [en línea]. US 2016/0369085A1. 2016. [Consulta: 15 noviembre 2021]. US 2016/0369085A1. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20160369085A1/en>.

TARIQUE, J., SAPUAN, S.M. & KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific Reports*, 2021. vol. 11, no. 1, pp. 1-17. ISSN 2045-2322. DOI 10.1038/s41598-021-93094-y.

THIEX, Nancy, NOVOTNY, Lawrence & CRAWFORD, Andy. Determination of Ash in Animal Feed: AOAC Official Method 942.05 Revisited. *Journal of AOAC INTERNATIONAL* [en línea], 2012. vol. 95, no. 5, pp. 1392-1397. [Consulta: 22 noviembre 2021]. ISSN 1060-3271. DOI 10.5740/JAOACINT.12-129. Disponible en: <https://academic.oup.com/jaoac/article/95/5/1392/5655282>.

THIRUCHELVI, R., DAS, Aryaman & SIKDAR, Eesani. Bioplastics as better alternative to petro plastic. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020. pp. 1-6. [Consulta: 11 agosto 2021]. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2020.07.176. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532035269X>.

TOCAGÓN, Robinson. *Diseño de un proceso para la obtención de almidón a partir de la Papa China (Colocasia esculenta)* [en línea]. Riobamba: 2018. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10450>.

TOKIWA, Yutaka, CALABIA, Buenaventurada P., UGWU, Charles U. & AIBA, Seiichi. Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], 2009. vol. 10, no. 9, pp. 3723. [Consulta: 2 noviembre 2021]. ISSN 1422-0067. DOI 10.3390/IJMS10093722. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/10/9/3722>.

TORRES, Alberto, MONTERO, Piedad & DURAN, Marlene. Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigación*, 2013. vol. 10, no. 2, pp. 52-61. ISSN 1794-4449.

TUATES, Andres. Biodegradable film from wild taro *Colocasia esculenta* (L.) Schott starch. *Agricultural Engineering International*, 2020. vol. 2, no. 1, pp. 152-155.

VARGAS, G., MARTÍNEZ, P. & VELEZMORO, C. Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 2016. vol. 7, pp. 223-230. ISSN 2077-9917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2016.03.09.

WANG, Jaw-Kai & HIGA, Sally. *Taro, a review of colocasia esculenta and its potentials* [en línea]. Honolulu: University of Hawaii Press. 1983. [Consulta: 3 noviembre 2021]. ISBN 082480841X. Disponible en: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/handle/10125/23024>.

YILDIZ, Fatih. *Advances in food biochemistry*. S.l.: CRC Press. 2010. ISBN 978-0-8493-7499-9.

ZOUNGRANAN, Yacouba, LYNDA, Ekou, DOBI-BRICE, Kouassi Kouadio, TCHIRIOUA, Ekou, BAKARY, Coulibaly & YANNICK, Dje Daniel. Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], 2020. vol. 8, no. 5, pp. 1. [Consulta: 3 septiembre 2021]. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2020.104396. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720307454>.

ANEXOS

**ANEXO A:
MATERIA PRIMA**



a.



b.



c.



d.

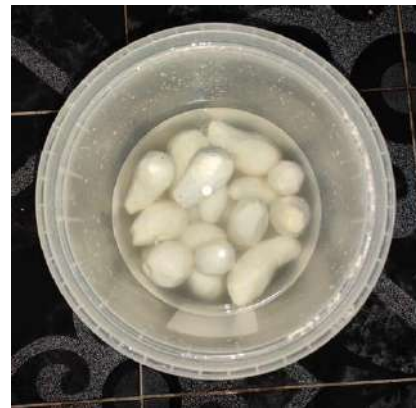
DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
a. Papa china. b. longitud de la papa china. c. ancho de la papa china. d. Masa de la papa china.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	LÁMINA	ESCALA
				1	1:1

ANEXO B:

EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR EL MÉTODO DE VÍA HÚMEDA



a.



b.



c.



d.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
a. Pelado de la papa china. b. Lavado de la papa china. c. Licuado de la papa china. d. Filtrado.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	2	1:1	2022/03/22

ANEXO C:
EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR EL MÉTODO DE VÍA HÚMEDA (CONTINUACIÓN)



a.



b.



c.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: <i>SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR</i>	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
a. Sedimentación. b. Secado. c. Molienda.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
					3

ANEXO D:
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN



a.



b.



c.

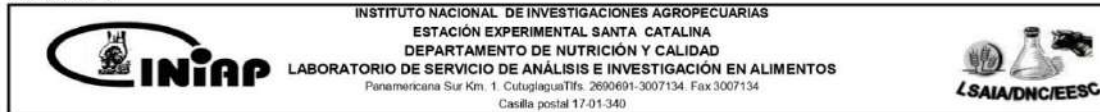


d.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
a. pH. b. Ceniza. c. Viscosidad. d. Densidad.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4	1:1	2022/03/22

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL ALMIDÓN

MC-L-LSAIA-2201-06



INFORME DE ENSAYO No: 21-0157

**NOMBRE PETICIONARIO:	Sr. Angel Yahir Sáenz Aguirre	**INSTITUCIÓN:	Particular
**DIRECCIÓN:	Riobamba	**ATENCIÓN:	Sr. Angel Yahir Sáenz Aguirre
FECHA DE EMISIÓN:	11/08/2021	FECHA DE RECEPCIÓN:	29/07/2021
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 29 de julio al 11 de agosto del 2021	HORA DE RECEPCIÓN:	15h00
		ANÁLISIS SOLICITADO:	Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ^Ω	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	
21-0894	0,81	30,21	Almidon de papa china

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



Escanea el código QR para ver:
IVÁN RODRÍGO SAMBRICIO MALIGUA

Dr. MSc. Iván Samaniego
RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLES DEL INFORME



Escanea el código QR para ver:
BLADIMIR EFRAIN ORTIZ RAMOS

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

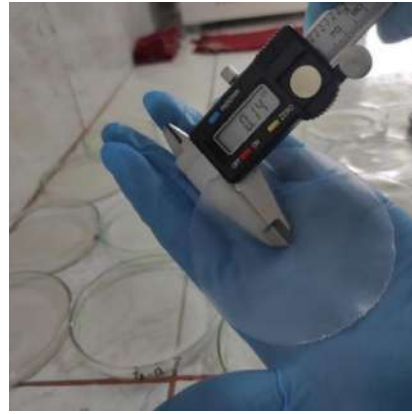
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta 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.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
Análisis de la amilosa y humedad en el laboratorio INIAP.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar 	ELABORADO POR: <i>SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR</i>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	1:1	2022/03/22

**ANEXO F:
CARACTERIZACIÓN DEL BIOMATERIAL**



a.



b.



c.



d.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA </p>	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
<p>a. Elaboración del biomaterial. b. Espesor. c. Humedad. d. Solubilidad en agua.</p>	<p> <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar </p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		<p align="center"> ELABORADO POR: <i>SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR</i> </p>	6	1:1	2022/03/22

ANEXO G:

CARACTERIZACIÓN DEL BIOMATERIAL (CONTINUACIÓN)



a.



b.



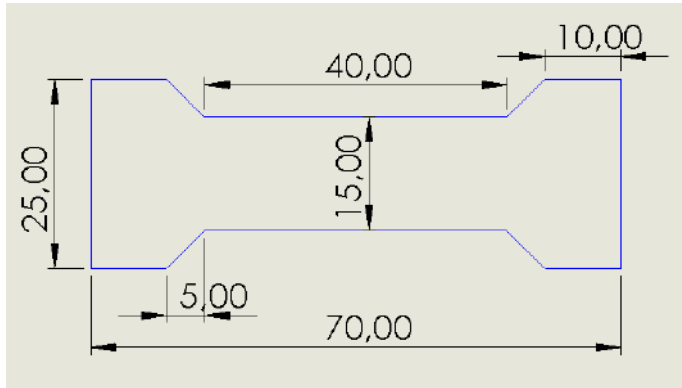
c.



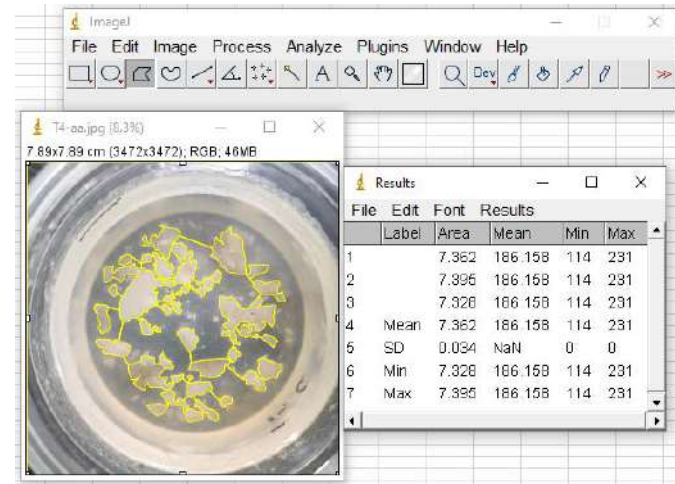
d.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
a. Permeabilidad de vapor de agua. b. Equipo para las pruebas mecánicas. c. biodegradación. d. Probetas para las pruebas mecánicas.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	7	1:1	2022/03/22

ANEXO H:
PROBETA Y PROGRAMA IMAGEJ



a.



b.

DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
a. Medidas de la probeta para las pruebas mecánicas (mm). b. Uso del software ImageJ para el cálculo del área.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			8	1:1	2022/03/22

ANEXO I: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DEL ALMIDÓN Y MATERIA PRIMA



RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

NOMBRE: Angel Sáenz
TIPO DE MUESTRA: Papa china (colorada escoclesa)
Muestra 1: Almidón de papa china
Muestra 2: Almidón de papa china
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 03 de septiembre del 2021
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 07 de octubre de 2021

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Muestra 1: papa china (colorada escoclesa)
Muestra 2: Almidón de papa china

Determinaciones	Unidades	Métodos de Análisis	Muestra 1	Muestra 2
Fibra cruda	%	Método gravimétrico Digestión ácida y basica	6.53	0.70
Proteína	%	Método Kjeldahl	4.71	0.26
Grasa	%	NITE INEN 523	1.5	0.9

RESPONSABLE:

[Firma]
Dra. Gina Ayerra R.




El Informe sólo aplica a la muestra solicitada e incluye el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Av. 9 de Octubre # 13 y Alameda
 Cotacachi - ID:0998580374-S-0387 942 382
 SÁQMIE Laboratorio
 Píedras Blancas - Ecuador



DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
Resultados de los análisis bromatológicos del almidón y materia prima.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar 	ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	9	1:1	2022/03/22

ANEXO J: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN




LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS EN AGUA Y ALIMENTOS
sáqmie


INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: *Ángel Sáenz*
 FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: *03 de septiembre del 2021*
 FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: *07 de octubre de 2021*
 LOCALIDAD: *Rosamba*

Tipo de Muestra: Almidón de papa china


Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
<i>Levadillas mesófilas</i>	UFC/g	Siembrá en masa	Ausencia
<i>Coliformos Totales</i>	UFC/g	Siembrá en masa	Ausencia
<i>Coliformos fecales (Enterococcus coli)</i>	UFC/g	Siembrá en masa	Ausencia
<i>Mohos y Levaduras</i>	UFC/g	Siembrá en masa	Ausencia

RESPONSABLE:

Dra. Gina Alvarez 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.



SAQMIE
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Av. 9 de Octubre # 12 y Mariscal
 Condominio: SO7096580374/SO732 942 322
 Saqmie Laboratorio
 Píedimonte - Ecuador



DESCRIPCIÓN:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
Resultados de los análisis bromatológicos del almidón y materia prima.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar 	ELABORADO POR: SÁENZ AGUIRRE ÁNGEL YAHIR	10	1:1	2022/03/22



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: 18 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Ángel Yahir Sáenz Aguirre
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA ÑUSTE
Nombre de reconocimiento (DN):
c=E-C o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION-
E/CIBCE, l=QUITO,
serialNumber=+000021805,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2022.04.18 15:56:01 -0500'



0692-DBRA-UTP-2022