



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LA
OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE LA
MALANGA (*Colocasia esculenta*) CON SUS PROPIEDADES
MECÁNICAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

CHRISTOPHER PATRICIO SÁNCHEZ VALLEJO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LA
OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE LA
MALANGA (*Colocasia esculenta*) CON SUS PROPIEDADES
MECÁNICAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CHRISTOPHER PATRICIO SÁNCHEZ VALLEJO

DIRECTOR: Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Christopher Patricio Sánchez Vallejo

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, CHRISTOPHER PATRICIO SÁNCHEZ VALLEJO declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como 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, 19 de diciembre del 2022.

Christopher Patricio Sánchez Vallejo
C.I. 085003975-1

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, **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LA OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE LA MALANGA (*Colocasia Esculenta*) CON SUS PROPIEDADES MECÁNICAS**, realizado por el señor **CHRISTOPHER PATRICIO SÁNCHEZ VALLEJO**, 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. Gabriela Viviana Tubon Usca, PhD. PRESIDENTA DEL TRIBUNAL		2022-12-19
Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-19
Ing. Paul Gustavo Palmay Paredes, PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-19

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico primeramente a Dios por darme guía y fortaleza en el transcurso de mi vida para poder salir adelante con cada reto que me he propuesto. A mis amados padres Betty Vallejo y Patricio Sánchez porque me han enseñado grandes valores que me han convertido en el hombre de bien que hoy en día soy, además de demostrarme que con esfuerzo y dedicación puedo llegar a cumplir mis sueños. Y a mis amigos que han hecho de esta experiencia algo muy especial y memorable.

Christopher

AGRADECIMIENTO

A Dios por prestarme salud y sabiduría para enfrentar este gran reto. A mi familia, por creer en mi capacidad, darme ánimos, aconsejarme, apoyarme económica y emocionalmente en cada paso que he dado en mi vida. A mi pareja por motivarme diariamente a nunca darme por vencido y ayudarme a levantar de cada caída. A mi director de tesis, Ing. Hannibal Brito y a mi colaborador Ing. Paul Palmay por haberme entregado parte de su valioso tiempo para el desarrollo del presente trabajo mediante sus asesorías y recomendaciones. A los docentes y técnicos de laboratorio que han compartido sus conocimientos y experiencias para forjar de mí un gran profesional en la capacidad de servir a la sociedad y el país. Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera Ingeniería Química, por brindarme una educación de excelencia impartida por grandes docentes comprometidos con su labor.

Christopher

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.	Identificación del problema	2
1.2.	Limitaciones y Delimitaciones	2
1.2.1.	<i>Limitaciones</i>	2
1.2.2.	<i>Delimitaciones</i>	3
1.3.	Problema General de la investigación.....	3
1.4.	Problemas Específicos de la investigación.....	3
1.5.	Objetivos.....	3
1.5.1.	<i>General</i>	3
1.5.2.	<i>Específicos</i>	3
1.6.	Justificación.....	4
1.6.1.	<i>Justificación Teórica</i>	4
1.6.2.	<i>Justificación Metodológica</i>	4
1.6.3.	<i>Justificación Práctica</i>	4
1.7.	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Antecedentes de investigación.....	6
2.2.	Referencias teóricas	6
2.2.1.	<i>Cultivo de tubérculos</i>	6
2.2.2.	<i>Colocasia esculenta (malanga, taro, papa china)</i>	6
2.2.2.1.	<i>Valor nutricional</i>	7

2.2.3.	<i>Almidón</i>	7
2.2.3.1.	<i>Amilosa</i>	8
2.2.3.2.	<i>Amilopectina</i>	8
2.2.4.	<i>Almidón de colocasia esculenta</i>	8
2.2.5.	<i>Caracterización del almidón</i>	9
2.2.5.1.	<i>Gelatinización</i>	9
2.2.5.2.	<i>Solubilidad</i>	9
2.2.5.3.	<i>Índice de hinchamiento</i>	10
2.2.5.4.	<i>Ceniza</i>	10
2.2.5.5.	<i>Humedad</i>	10
2.2.6.	<i>Bioplásticos</i>	11
2.2.6.1.	<i>Polímeros de base biológica</i>	11
2.2.6.2.	<i>Polímeros biodegradables</i>	11
2.2.7.	<i>Bioplásticos a base de almidón</i>	12
2.2.8.	<i>Caracterización del bioplástico</i>	12
2.2.8.1.	<i>Propiedades mecánicas</i>	12
2.2.9.	<i>Grafeno</i>	13
2.2.10.	<i>Biodegradabilidad</i>	13
2.2.11.	<i>Óxido de Grafeno</i>	13
2.2.12.	<i>Método de Hummers modificado</i>	14

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1.	Enfoque de investigación	15
3.2.	Nivel de investigación	15
3.3.	Diseño de investigación	15
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente (no experimental, casi experimental, experimental)</i>	15
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo (transversal, longitudinal)</i>	17
3.4.	Tipo de Estudio	17
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	17
3.5.1.	<i>Población y Planificación</i>	17
3.5.2.	<i>Selección y tamaño de la muestra</i>	17
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	19
3.6.1.	<i>Técnica de extracción para el almidón de la Malanga</i>	19
3.6.2.	<i>Caracterización del almidón de malanga</i>	21

3.6.3.	<i>Técnica de síntesis del óxido de grafeno</i>	23
3.6.4.	<i>Técnica de obtención del plástico biodegradable</i>	24
3.6.5.	<i>Caracterización del plástico biodegradable</i>	25

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	27
4.1.	Datos obtenidos	27
4.1.1.	<i>Almidón</i>	27
4.1.1.1.	<i>Análisis sensorial</i>	27
4.1.1.2.	<i>Extracción del almidón por vía húmeda</i>	28
4.1.2.	Óxido de grafeno	28
4.1.2.2.	<i>Síntesis del GO</i>	28
4.1.3.	Bioplásticos	29
4.1.3.1.	<i>Elaboración del blanco</i>	29
4.1.3.2.	<i>Elaboración con el GO</i>	29
4.1.3.3.	<i>Ensayo de humedad</i>	30
4.1.3.4.	<i>Ensayo de solubilidad</i>	31
4.1.3.5.	<i>Espesor</i>	32
4.1.3.6.	<i>Ensayos de permeabilidad</i>	33
4.1.3.7.	<i>Pruebas de degradabilidad</i>	33
4.2.	Cálculos	34
4.2.1.	<i>Almidón</i>	34
4.2.1.1.	<i>Rendimiento extracción del almidón</i>	34
4.2.1.2.	<i>Porcentaje de humedad</i>	35
4.2.1.3.	<i>Contenido de ceniza</i>	35
4.2.1.4.	<i>Índice de solubilidad</i>	36
4.2.2.	Óxido de grafeno	36
4.2.2.1.	<i>Rendimiento obtención del óxido de grafito</i>	36
4.2.2.2.	<i>Rendimiento obtención del óxido de grafeno</i>	36
4.2.3.	Bioplástico	37
4.2.3.1.	<i>Porcentaje de solubilidad</i>	37
4.2.3.2.	<i>Tasa de transmisión de vapor de agua</i>	39
4.2.3.3.	<i>Porcentaje de degradabilidad</i>	41
4.3.	Resultados	43
4.3.1.	<i>Almidón</i>	43
4.3.3.1.	<i>Caracterización física del almidón</i>	43

4.3.1.2.	<i>Rendimiento extracción del almidón</i>	43
4.3.1.3.	<i>Caracterización del almidón</i>	43
4.3.2.	<i>Óxido de grafeno</i>	44
4.3.2.1.	<i>Rendimiento de la síntesis</i>	44
4.3.3.	<i>Bioplásticos</i>	44
4.3.3.1.	<i>Características de las láminas de bioplástico</i>	44
4.3.3.2.	<i>Pruebas físicas del bioplástico</i>	46
4.3.3.3.	<i>Pruebas de biodegradabilidad</i>	46
4.3.3.4.	<i>Pruebas mecánicas</i>	47
4.3.3.5.	<i>Valoración económica</i>	53
4.4.	Prueba de Hipótesis	54

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	55
5.1.	Propuesta	55

CONCLUSIONES..... 56

RECOMENDACIONES..... 57

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Variables de los procesos.....	15
Tabla 2-3:	Diseño del muestreo para el proceso de elaboración de bioplásticos reforzados con óxido de grafeno	16
Tabla 3-3:	Diseño del muestreo para el proceso de elaboración de bioplásticos reforzados con óxido de grafeno.	18
Tabla 4-3:	Técnica de Extracción para el almidón de Malanga	19
Tabla 5-3:	Caracterización del almidón de malanga	21
Tabla 6-3:	Análisis del almidón de malanga	22
Tabla 7-3:	Técnica de obtención del GO.....	23
Tabla 8-3:	Técnica de obtención del bioplástico a base de almidón de malanga	24
Tabla 1-4:	Caracterización materia prima de Malanga	27
Tabla 2-4:	Extracción del almidón vía húmeda.....	28
Tabla 3-4:	Síntesis del óxido de grafeno	28
Tabla 4-4:	Blanco del bioplástico.....	29
Tabla 5-4:	Bioplásticos con GO	29
Tabla 6-4:	Resultados de humedad.....	30
Tabla 7-4:	Resultados de solubilidad	31
Tabla 8-4:	Resultados de la medición de espesor.....	32
Tabla 9-4:	Resultados de permeabilidad	33
Tabla 10-4:	Degradabilidad en suelo.....	33
Tabla 11-4:	Degradabilidad en agua.....	34
Tabla 12-4:	Degradabilidad al aire libre.....	34
Tabla 13-4:	Análisis sensorial de la materia prima	43
Tabla 14-4:	Rendimiento extracción vía húmeda.....	43
Tabla 15-4:	Análisis proximal del almidón de malanga.....	43
Tabla 16-4:	Rendimiento síntesis de GO y óxido de grafito	44
Tabla 17-4:	Análisis preliminar de los blancos	45
Tabla 18-4:	Análisis preliminar de los bioplásticos con GO	45
Tabla 19-4:	Ensayos físicos del bioplástico	46
Tabla 20-4:	Porcentajes de degradabilidad.....	47
Tabla 21-4:	Resultados pruebas mecánicas del blanco	47
Tabla 22-4:	Resultados pruebas mecánicas del bioplástico con GO	47
Tabla 23-4:	Módulo elástico.....	48
Tabla 24-4:	Análisis ANOVA del Módulo elástico	48

Tabla 25-4: Máxima Carga.....	48
Tabla 26-4: Análisis ANOVA de la Carga Máxima.....	49
Tabla 29-4: Análisis TUKEY del Máximo Desplazamiento.....	50
Tabla 30-4: Máximo Esfuerzo.....	50
Tabla 31-4: Análisis ANOVA del Máximo Esfuerzo	51
Tabla 32-4: Máxima Deformación	51
Tabla 33-4: Análisis ANOVA del Máxima Deformación.....	51
Tabla 34-4: Análisis TUKEY del Máxima Deformación.....	52
Tabla 35-4: Rotura de carga	52
Tabla 36-4: Análisis ANOVA de la Rotura de carga	53
Tabla 37-4: Costos de producción por gramo	53
Tabla 38-4: Costo de producción por lámina de bioplástico	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3: Diagrama de Flujo para la extracción del almidón de Malanga.....	20
--	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3: Cálculo del porcentaje de Humedad	21
Ecuación 2-3: Cálculo de porcentaje de cenizas	21
Ecuación 3-3: Ecuación para el cálculo del Índice de solubilidad en agua.....	22
Ecuación 4-3: Cálculo del Porcentaje de solubilidad.....	25
Ecuación 5-3: Cálculo de Permeabilidad	26

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA Y ALMIDÓN
- ANEXO B:** TRITURADO DE LA MATERIA PRIMA
- ANEXO C:** PRUEBAS DE SOLUBILIDAD
- ANEXO D:** SÍNTESIS DEL PRODUCTO
- ANEXO E:** CENTRIFUGADO DEL PRODUCTO
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

RESUMEN

La demanda de bioplásticos actualmente no representa una competencia seria para el mercado de los plásticos sintéticos, siendo que estos últimos son más agresivos para el medio ambiente es así que el objetivo del presente trabajo de investigación es analizar en qué medida las propiedades mecánicas de los bioplásticos formados a base de almidón de malanga mejoran mediante el uso de diferentes tratamientos con óxido de grafeno de tal manera que permita el progreso en futuros estudios de la adición de éste como aditivo complementario. La metodología implementada se basa tanto en un enfoque cuantitativo como cualitativo, se utilizó además en un diseño experimental mediante la variación de la variable independiente (óxido de grafeno); la población del estudio es la materia prima de malanga la cual se sometió a métodos y técnicas para su caracterización y obtención de almidón, siendo importante un estudio documental y de campo para la síntesis de óxido de grafeno (GO) mediante el método de Hummers modificado y su respectiva adición a los bioplásticos elaborados. Por medio de pruebas mecánicas se logró determinar que efectivamente hay un aumento considerable de propiedades tales como el módulo elástico, máxima carga, máximo desplazamiento, máximo esfuerzo, máxima deformación y la rotura de carga. Por otra parte, propiedades como la biodegradación no se ve afectada. Es así como se concluyó que el mejor tratamiento para aplicaciones futuras en la industria corresponde la TBM2 puesto que presentó buenos resultados en las propiedades mecánicas y los mejores resultados para la máxima deformación y máximo desplazamiento.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <MALANGA (*Colocasia Esculenta*)>, <GRAFENO>, <BIOPLÁSTICOS>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>, <BIODEGRADABILIDAD>.

0689-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The demand for bioplastics currently does not represent a serious competition for the market of synthetic plastics, since the latter are more aggressive to the environment. The objective of this research work is to analyze to extent the mechanical properties of bioplastics formed from taro starch improve through the use of different treatments with graphene oxide in order to allow progress in future studies on the addition of graphene as a complementary additive. The methodology implemented is based on both a quantitative and qualitative approach, it was also used in an experimental design by varying the independent variable (graphene oxide); the study population is the raw material of taro which was subjected to methods and techniques for its characterization and obtaining starch, being important a documentary and field study for the synthesis of graphene oxide (GO) by the modified Hummers method and its respective addition to the bioplastics produced. By means of mechanical tests, it was determined that there is indeed a considerable increase in properties such as elastic modulus, maximum load, maximum displacement, maximum stress, maximum deformation and load rupture. On the other hand, properties such as biodegradation are not affected. Thus, it was concluded that the best treatment for future applications in the industry corresponds to TBM2 since it showed good results in mechanical properties and the best results for maximum deformation and maximum displacement.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <TARO (Colocasia Esculenta)>, <GRAPHENE>, <BIOPLASTICS>, <MECHANICAL PROPERTIES>, <BIODEGRADABILITY>.

0689-DBRA-UPT-2023



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata, Mgs

0602926719

INTRODUCCIÓN

El crecimiento significativo en el uso del plástico se debe por algunas de sus propiedades beneficiosas, como la extrema durabilidad, la estabilidad, la versatilidad y la capacidad de adaptarse para satisfacer necesidades técnicas muy precisas. El crecimiento exponencial de los plásticos a lo largo de las décadas en varios sectores como el eléctrico, óptico, automotriz, electrónico, doméstico y de empaques en general realmente ha sustituido a muchos otros materiales convencionales en la era actual. Sin embargo, estas amplias aplicaciones y el aumento de la tasa de producción han llevado a la formación de enormes cantidades de desechos después de su uso, lo que genera un problema grave para que la gestión de desechos sólidos.

Hoy en día existe la necesidad y la preocupación de reducir el uso de materiales plásticos sintéticos por cuestiones medioambientales. Una alternativa de abordaje a este problema es utilizar películas fabricadas exclusivamente con polímeros naturales, que sean capaces de reincorporarse completamente al medio ambiente en poco tiempo y puedan ser aplicadas como material de empaque en diversos segmentos del sector productivo y productos de consumo.

El interés por el mantenimiento y mejora de la calidad de los envases a base de plásticos derivados del petróleo y la reducción de residuos ha fomentado la exploración de nuevos materiales de envasado, como los films biodegradables formulados con materias primas derivadas de fuentes renovables, denominados biopelículas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

La contaminación por plásticos es uno de los grandes problemas ambientales del siglo XXI no solo debido al aumento de su producción a nivel mundial sino por la incorrecta disposición de los desechos plásticos en ecosistemas terrestres y marinos (Binelli y otros, 2021), sumado a que actualmente la biodegradación ambiental de la mayoría de los plásticos como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y tereftalato de polietileno (PET) no ha sido observada en un grado significativo (Viljakainen y Hug, 2021, p.2).

Bajo el contexto de la pandemia por el Covid-19 se propició un gran aumento en el uso de equipos de protección personal (EPP) de plástico como mascarillas, guantes, trajes médicos de protección, botellas de desinfectante para manos, kits de pruebas médicas, la mayoría de los cuales son productos de un solo uso que pueden desecharse incorrectamente (Magni et al. , 2022, p.3), por lo que se puede observar una repercusión a corto y mediano plazo en el aumento de la cantidad de desechos plásticos en el ambiente.

La demanda de bioplásticos actualmente no representa una competencia seria para el mercado de los plásticos sintéticos, siendo que estos últimos son más agresivos para el medio ambiente. Dos factores importantes que contribuye a este problema, es que por una parte se necesita un mayor capital para producir bioplásticos, y por otra, muchas veces no se obtienen características sobre todo mecánicas, de tracción y elongación que puedan suplir satisfactoriamente a los plásticos sintéticos y sus múltiples aplicaciones. Es entonces que se ha propuesto el uso de fibras naturales provenientes de residuos de frutas, textiles, quitosano o partículas de madera y en otros casos la adición de óxido de zinc, grafeno, tierra de diatomeas o bentonita, para reforzar este tipo de materiales y mejorar sus propiedades mecánicas, físicas o químicas (Riera y Palma, 2018, p.2). Las excepcionales propiedades mecánicas del grafeno tienen su origen en la fortaleza de los enlaces covalentes tipo σ entre los átomos de carbono que lo forman (López, 2016, p.3), siendo la alternativa a utilizar en este trabajo de investigación.

1.2. Limitaciones y Delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

El trabajo de investigación puede verse limitado por la falta de calibración de los equipos de laboratorio, así como de la antigüedad de los mismos, factores que pueden alterar el resultado de

las pruebas. Otras pruebas como la caracterización de la materia prima deberán ser realizadas en laboratorios externos.

1.2.2. Delimitaciones

Las pruebas serán nivel de los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Industrialmente se desconoce su factibilidad y viabilidad. Por otra parte, solo se pondrán a prueba las propiedades físicas, químicas y mecánicas del bioplástico fabricado; no se pondrá a prueba su compatibilidad con alimentos o con otras aplicaciones (embalaje, almacenamiento, etc.).

1.3. Problema General de la investigación

¿El bioplástico a base de almidón de malanga puede mejorar sus propiedades mecánicas mediante la adición de óxido de grafeno?

1.4. Problemas Específicos de la investigación

- ¿Las propiedades organolépticas, físicas, químicas y mecánicas del bioplástico obtenido se encuentran dentro de las normas?
- ¿La adición de óxido de grafeno afecta a la biodegradación del bioplástico?
- ¿Cuál sería la concentración óptima del óxido de grafeno para ser utilizado como complemento en la elaboración de bioplásticos de malanga?
- ¿Es factible económicamente la producción de una lámina de bioplástico de malanga?

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Analizar en qué medida las propiedades mecánicas de los bioplásticos formados a base de almidón de malanga mejoran mediante el uso de diferentes tratamientos con óxido de grafeno de tal manera que permita el progreso en futuros estudios de la adición de éste como aditivo complementario.

1.5.2. Específicos

- Realizar pruebas organolépticas, físicas, químicas y mecánicas del bioplástico mejorado con el fin de observar cómo varían sus propiedades más importantes.

- Medir el tiempo de biodegradación que tiene este producto tanto en suelo al aire libre como en agua.
- Determinar mediante análisis estadísticos la concentración óptima de óxido de grafeno para mejorar las propiedades mecánicas del bioplástico.
- Evaluar el costo de producción de una lámina de bioplástico a base de almidón de malanga.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

La utilización de nanopartículas mejora las propiedades mecánicas y de barrera de los polímeros, lo que resulta importante al momento de disponer de una menor demanda de materias primas, y su aplicación en biopolímeros hace que su producción y uso contribuyan a reducir la dependencia de materiales que son afines al petróleo. Es así, que para contrarrestar aquellos inconvenientes que presenta el almidón en su estado nativo que limitan su aplicación a nivel de industria, la llevan a cabo modificaciones químicas, como lo es emplear la oxidación en la que los grupos hidroxilo (OH-) ya sea carbonos C2, C3 y C6 de la unidad anhidroglucosa del almidón pueden ser sustituidos por grupos funcionales (CHO) o carboxilo (COO-). Debido a dicha modificación, se obtiene películas con mejores propiedades mecánicas a los plásticos sintéticos, en el instante que se mezclan con el quitosano para así tener películas compuestas. Hoy en día, se presentan un número pequeño de estudios que reportan las propiedades reológicas de soluciones filmogénicas en mezclas de biopolímeros (Zamudio et al., 2013, p.1).

1.6.2. Justificación metodológica

Lo propuesto por Dai et al. (2015, p.3) en un proceso de preparación de nanopartículas de almidón de maíz ceroso y de malanga (*Colocasia esculenta*) mediante enzimólisis y recristalización, hizo que los contenidos de un intervalo de 0,5-15% de dichas nanopartículas influenciaron en distintas propiedades. Como consecuencia, se produjo un incremento en la resistencia a la tensión y una elevación en la concentración de nanopartículas provocó una caída significativa en la permeabilidad al vapor de agua.

1.6.3. Justificación práctica

Los beneficiarios de este proyecto de investigación serían los grupos de investigación que existen en la ESPOCH, los cuales se han dedicado a experimentar con los bioplásticos a base de distintas

fuentes de almidón. Información acerca de la adición del óxido de grafeno como aditivo complementario serviría mucho también para futuras investigaciones y trabajos de titulación.

1.7. Hipótesis

La adición de óxido de grafeno como complemento en la elaboración de bioplásticos a base de almidón de malanga (*Colocasia Esculenta*) mejora sus propiedades mecánicas sin modificar sus otras propiedades.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Los plásticos de base petroquímica, como poliolefinas, poliésteres, poliamidas, etc., se han utilizado cada vez más como materiales de empaque, debido a su disponibilidad en grandes cantidades a bajo costo y características de funcionalidad favorables, como buena resistencia a la tracción y al desgarre, buenas propiedades de barrera al O₂ y olores. Sin embargo, tienen una tasa de transmisión de vapor de agua muy baja y, lo que es más importante, son totalmente no biodegradables y, por lo tanto, conducen a la contaminación ambiental, lo que plantea serios problemas ecológicos (Tharanathan, 2003, p.2).

La malanga, taro o papa china es una gran fuente de almidón, estudios realizados han determinado que el tubérculo contiene altos porcentajes de este componente, que es de alta demanda debido a sus múltiples aplicaciones y usos en la industria alimenticia, de fármacos, cosmética e incluso en la producción de polímeros naturales, la malanga blanca requiere para su producción de bajas inversiones con altas rentabilidades (García et al., 2020, p.4).

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Cultivo de tubérculos

Los cultivos de raíces y tubérculos son plantas que producen raíces, tubérculos, rizomas, bulbos y tallos ricos en almidón. Se utilizan principalmente para la alimentación humana (como tal o en forma procesada), alimento para animales y para la fabricación de almidón, alcohol y bebidas fermentadas, incluida la cerveza. Muchos de los países productores en vías de desarrollo dependen de los cultivos de raíces y tubérculos como fuente importante de alimentos y nutrición. Los cultivos de raíces y tubérculos producen grandes cantidades de energía al día, en comparación con los cereales. Los principales cultivos de raíces y tubérculos (papa, camote, mandioca y ñame) ocupan aproximadamente 53,93 millones de hectáreas en todo el mundo y producen 736,747 millones de toneladas anuales (Liu et al., 2014, p.6).

2.2.2. *Colocasia esculenta* (malanga, taro, papa china)

La malanga, *Colocasia esculenta* (L.) Schott, es miembro de la familia de monocotiledóneas *Araceae*, que contiene 106 géneros y aproximadamente 2500 especies. Otros géneros de *Araceae*

cultivados para tubérculos subterráneos incluyen *Alocasia*, *Amorphophallus* y *Xanthosoma*. Todos estos se propagan comercialmente a través de medios vegetativos. Las hojas de taro tienen forma de corazón con morfología y tamaños variables.

Esta especie pertenece a una planta herbácea, por lo general 0,5-1,5 m de altura. Las hojas de casi todos los genotipos son peltadas. El tamaño de la hoja está fuertemente influenciado por el medio ambiente. Las dimensiones máximas de las hojas de taro generalmente se asocian con el comienzo de la floración. A medida que se acerca la madurez, los pecíolos de las hojas se vuelven más cortos y las láminas de las hojas más pequeñas. Su color varía de un verde muy claro a un púrpura muy oscuro, según el genotipo. Puede ser uniforme o tener variaciones como líneas, manchas o manchas de diferentes pigmentaciones. Para fines de reproducción, solo hay dos grupos de taros: diploides y triploides (Aditika et al., 2021, p.5).

La malanga es conocida por sus bulbos, tubérculos y raíces fibrosas que contienen una gran cantidad de micro y macronutrientes. El contenido de carbohidratos presente en Taro sigue variando, dependiendo de los diferentes lugares para su cultivo, pero no se ve afectado por el tamaño de su cormo. El análisis químico muestra que Taro contiene 70-80% de contenido de almidón. En el Taro el contenido de almidón es mayor que el de la batata y el almidón de yuca. La raíz de taro contiene un tipo especial de almidón conocido básicamente como almidón resistente. El alto contenido de almidón resistente explora su amplia variedad de aplicaciones en la industria alimentaria como emulsionante, agente aglutinante y en la industria farmacéutica como agente desintegrador de tabletas (Kaith et al., 2022, p.7).

2.2.2.1. Valor nutricional

Las características subyacentes de la consistencia de los alimentos del taro incluyen factores nutricionales y anti nutricionales, así como otros fitoquímicos con una variedad de actividades biológicas. La malanga es una buena fuente de almidón, fibras dietéticas, azúcares y cenizas, y proporciona más energía, carbohidratos y vitamina A que las papas y los camotes. Las hojas y los bulbos de taro contienen significativamente más calcio, magnesio y potasio que otros cultivos de tubérculos (Aditika et al., 2021, p.5).

2.2.3. Almidón

El almidón normal se compone de alrededor de 70 a 80 % de amilopectina y de 20 a 30 % de amilosa, el almidón ceroso se compone principalmente de amilopectina y de 0 a 8 % de amilosa, y el almidón con alto contenido de amilosa se compone de 40 a 90 % de amilosa. Además de la amilosa y la amilopectina, la mayoría de los almidones normales de cereales también contienen lípidos, incluidos los fosfolípidos, que tienen un impacto significativo en las propiedades

pastosas, gelificantes y digestivas del almidón. Muchos almidones de tubérculos y raíces y algunos almidones de cereales tienen derivados de mono éster de fosfato (Ai y Jane, 2016, p.6).

2.2.3.1. Amilosa

La amilosa es una molécula principalmente lineal, que consta principalmente de D-glucopiranososa unida α -1-4 con unas pocas ramificaciones α -1-6. El peso molecular de la amilosa varía desde el grado de polimerización (GP) 500 en el almidón de maíz con alto contenido de amilosa hasta más de (GP) 6000 en el almidón de patata. El número de ramificaciones aumenta con el tamaño molecular de la amilosa (Ai & Jane, 2016).

La proporción de amilosa es el factor determinante de los atributos de calidad del almidón de taro. Investigaciones revelaron que la amilosa en el almidón de taro nativo (17,12 %) es casi similar al almidón de yuca, pero menos que el almidón de papa nativo (26,45 %) y el almidón de frijol (35,6 %) (Singla et al., 2020, p.1284).

2.2.3.2. Amilopectina

La amilopectina consta de D-glucopiranososa lineal unida α -1-4 cadenas que están conectadas por enlaces de ramificación por α -1-6, alrededor del 5% (Ai y Jane, 2016, p.7). Los dominios cristalinos de los gránulos de almidón se deben a las ramas agrupadas de las cadenas de amilopectina que están empaquetadas, mientras que la amilosa libre, la amilosa complejada con lípidos y los puntos de ramificación de la amilopectina se encuentran en la región amorfa. Se propuso una disposición alternativa de la región cristalina y amorfa para el gránulo de almidón semi cristalino. Sin embargo, no existe una demarcación clara entre las regiones amorfas y cristalinas. La región cristalina es menos susceptible a la hidrólisis enzimática, la penetración de agua y otras reacciones químicas que la región amorfa. La amilopectina tiene una menor tendencia a la gelificación, retrogradación y sinéresis debido a la estructura ramificada. La cantidad de amilopectina varía entre los diferentes almidones. Las variedades cerosas contienen casi un 100 % de amilopectina. La extensión de las características funcionales del almidón (viscosidad, gelatinización, solubilidad, textura, estabilidad del gel, retrogradación, resistencia al cizallamiento) se ven directamente afectadas por la relación amilosa/amilopectina (Gunaratne y Corke, 2016, p.6).

2.2.4. Almidón de colocasia esculenta

Los cormos de taro son ricos en almidón, que puede representar más del 85% de la materia seca total. Se asumen que las características de calidad de los productos de taro se relacionen positivamente con la calidad de su almidón, amilosa y composición de la materia seca (Singla, y

otros, 2020, p.54). El almidón derivado de Taro, un tubérculo que crece en las regiones tropicales, se puede utilizar debido a su tamaño de gránulo, que está en el rango de 1 a 5 μm . La amilopectina en el taro es corta y posee una longitud de cadena promedio larga que ayuda en la formación de un gel firme con alta elasticidad cuando se calienta. El patrón cristalográfico del almidón de taro exhibe una estructura cristalina de tipo A que es densa de doble hélice en un patrón ortogonal. La estructura cristalina permitiría que el almidón resistiera altas temperaturas y condiciones de cizallamiento (Shanmathy et al., 2021, p.34).

2.2.5. Caracterización del almidón

Los parámetros de calidad del almidón de taro están directamente relacionados con la gelatinización, la retrogradación, el hinchamiento, la solubilidad, las propiedades térmicas y de congelación y descongelación.

2.2.5.1. Gelatinización

Los gránulos de almidón nativo pueden absorber alrededor del 30 % (p/p) de humedad cuando se sumergen en agua a temperatura ambiente. El agua se distribuye en la región amorfa de los gránulos de almidón. Cuando el almidón se calienta a una temperatura específica en presencia de agua, pierde la estructura cristalina y se vuelve transparente. Esta transición térmica se conoce como gelatinización, y la temperatura a la que el almidón pierde la estructura cristalina es la temperatura de gelatinización (Ai y Jane, 2016, p.4). Como resultado de los cambios anteriores mencionados durante la gelatinización, la pasta de almidón desarrolla viscosidad, la base de la mayor utilidad tecnológica del almidón como ingrediente en aplicaciones alimentarias y no alimentarias (Gunaratne y Corke, 2016, p.13).

2.2.5.2. Solubilidad

La solubilidad acuosa del almidón indica la prueba de la física interacciones entre las moléculas de agua y las partes semicristalinas de las cadenas de almidón. Cuando los gránulos de almidón se calientan en agua, los enlaces glucosídicos se aflojan con el aumento de la influencia térmica, lo que induce a los gránulos de almidón a absorber agua, lo que produce cambios irreversibles (pérdida de cristalinidad), hinchazón de los gránulos, solubilización de la amilosa y lixiviación de la amilosa en el agua (Kumoro et al., 2019, p.32).

Los datos de solubilidad del almidón son esenciales para la determinación de los usos apropiados del almidón, junto con la temperatura de gelatinización se están convirtiendo en las dos

propiedades más cruciales que determinan los usos apropiados del almidón en las industrias alimentarias. La solubilidad se relaciona con el índice de hinchamiento debido a la lixiviación de la amilosa extraída que se separa y se dispersa (Singla, et al., 2020, p.85).

2.2.5.3. Índice de hinchamiento

Los gránulos de almidón nativo son insolubles en agua. Aunque se pueden absorber pequeñas cantidades de agua a temperatura ambiente, el hinchamiento granular es limitado en gránulos intactos. Durante el calentamiento en exceso de agua, después del inicio de la gelatinización, los gránulos comienzan a hincharse rápidamente, perdiendo las cruces de polarización. El alcance del poder de hinchamiento y la solubilidad depende de la magnitud de la interacción de la cadena de almidón dentro del dominio amorfo y cristalino, el tamaño de los gránulos de almidón, el contenido de amilosa, los lípidos unidos, el daño del almidón, la temperatura, las características moleculares y la cantidad de amilosa-amilopectina (Gunaratne y Corke, 2016, p.51).

2.2.5.4. Ceniza

El método de determinación de ceniza consiste en oxidar toda la materia orgánica en una muestra pesada del material por incineración y determinar el peso de las cenizas remanentes. Hay que tomar en cuenta que la alta temperatura puede causar la volatilización de ciertos elementos (particularmente K, Na, Cl y P) y también puede causar que la materia mineral se derrita y fusione (Aquaculture, 2018, p.5).

El Método AACCI 08-01 se basa en el hecho de que cuando una muestra se incinera en un horno, la alta temperatura vaporiza la humedad y quema todos los materiales orgánicos (almidón, proteínas, azúcares y grasas), dejando solo las cenizas. El residuo está compuesto por minerales inorgánicos no combustibles que se concentran en la capa de salvado (Evoniuk, 2020, p.5).

2.2.5.5. Humedad

Poder determinar el contenido de humedad de un alimento rápidamente puede optimizar de manera significativa un proceso de fabricación. El método más común para determinar el contenido de humedad es analíticamente a través de la pérdida de peso mediante el método de secado en mufla o estufa, en el que el contenido de humedad se determina a partir del cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua absorbida en el horno (Tirado et al., 2015, p.6).

2.2.6. Bioplásticos

El bioplástico es un tipo de plástico derivado de fuentes de biomasa como almidón de maíz, o microbiota. La biodegradabilidad del bioplástico en diferentes condiciones ambientales y sus usos de fuentes renovables, es decir, desechos agrícolas, lo han hecho más favorable que los plásticos convencionales. La biodegradabilidad está significativamente influenciada por su estructura física y química. Los bioplásticos generalmente se dividen en biodegradables y de base biológica. En realidad, no todos los plásticos de base biológica se caracterizan como biodegradables y viceversa (Alrefai et al., 2020, p.5).

Los bioplásticos se pueden usar para muchos propósitos, como indican Rao et al. (2022, p.15):

- 1) Reducir el deseo excesivo de polímeros a base de petróleo
- 2) Acumulación de desechos plásticos inexorables y un mejor control de la emisión de gases tóxicos, especialmente, monóxido de carbono y dióxido de carbono en el medio ambiente.

2.2.6.1. Polímeros de base biológica

Los polímeros de base biológica son materiales que se producen a partir de recursos renovables y pueden ser biodegradables, como el PLA, o no degradables, como el polietileno de origen biológico (Bio-PE), también conocido como biopolietileno. Del mismo modo, mientras que muchos polímeros de base biológica son biodegradables, incluidos el almidón y los PHA, existen algunos polímeros biodegradables que no son de base biológica, como la poli (ϵ -caprolactona) (PCL) (Ashter, 2016, p.7).

2.2.6.2. Polímeros biodegradables

Los polímeros biodegradables se clasifican ampliamente en dos categorías principales: (1) naturales y (2) sintéticos. Los polímeros naturales están disponibles en grandes cantidades a partir de fuentes renovables, mientras que los polímeros sintéticos se producen a partir de recursos de petróleo no renovables. Los polímeros biodegradables tienen una vida útil e implican un proceso de biodegradación. La biodegradación de los polímeros ocurre principalmente debido a la ruptura de los enlaces a través de la hidrólisis o por la acción de las enzimas en el polímero que conduce a la erosión del polímero. Los polímeros biodegradables se clasifican según su origen en tres clases: polímeros renovables producidos naturalmente, polímeros sintéticos derivados de recursos renovables y polímeros sintéticos derivados de recursos derivados del petróleo (Ashter, 2016). Si bien la biodegradabilidad es un requisito indispensable para cualquier plástico ecológico, los obtenidos a partir de materias primas renovables no siempre lo cumplen. Asimismo, tampoco es necesario que un plástico biodegradable sea de base biológica. Esencialmente, la biodegradación

de cualquier plástico es un fenómeno complejo que depende de su peso molecular, hidrofobicidad y la naturaleza de los aditivos presentes en la matriz y se aborda en detalle más adelante en este texto. Por lo tanto, bioplástico es un término general asociado con cualquier plástico que tenga al menos una faceta ecológica (Agnihotri et al., 2020, p.8).

2.2.7. Bioplásticos a base de almidón

En los polímeros de almidón, la amilosa (AM) y la amilopectina (AP), están presentes en los gránulos de almidón, y las moléculas de AP son responsables de la semicristalinidad del almidón. Para producir películas a base de almidón, es necesario convertir una forma semicristalina nativa en una forma amorfa de almidón. Para lograr esto, se utilizan dos enfoques diferenciados que tienen relación con el contenido de agua en el sistema: la gelatinización del almidón y la fusión del almidón. Aunque ambos destruyen la forma semicristalina nativa del almidón dando como resultado polímeros de almidón amorfos, las propiedades mecánicas y de permeabilidad de las películas son bastante diferentes (Lumdubwong, 2019, p.6).

2.2.8. Caracterización del bioplástico

Los bioplásticos fabricados aún no son competitivos frente a los plásticos convencionales, debido a su mayor precio y malas propiedades mecánicas. Para mejorar las propiedades deseables, el refuerzo de materiales poliméricos con nanorrellenos es un enfoque novedoso. El GO se utiliza ampliamente en la fabricación de nanocompuestos debido a su alta compatibilidad con varias matrices poliméricas. En este trabajo de investigación, se analiza el refuerzo de nanorrellenos a base de grafeno en compuestos poliméricos y las propiedades mecánicas, estructurales, de dispersabilidad, térmicas y antimicrobianas de los bioplásticos (Ahmed, 2019, p.32).

2.2.8.1. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se pueden mejorar mediante el uso de tratamientos químicos, enzimáticos o físicos. Además, se pueden añadir cargas (es decir, fibras plásticas metalizadas), que sin interactuar con las proteínas, mejoran las propiedades finales del bioplástico. Sin embargo, el uso de algunos de estos materiales puede causar toxicidad o la transmisión de propiedades nocivas al producto para el que se utilizan. En este contexto, el uso de tratamientos físicos es el más recomendado para poder prevenir estos inconvenientes y mejorar las propiedades mecánicas de los bioplásticos sin causar problemas de toxicidad que puedan afectar a su posterior uso.

El ensayo de tracción es una propiedad ampliamente medida de los materiales utilizados en aplicaciones estructurales donde se pone a prueba la resistencia a la rotura bajo tensión de tracción

donde los bioplásticos tipo mancuerna (probetas) se someten a una fuerza axial hasta su rompimiento (Jimenez-Rosado, 2020, p.17).

2.2.9. Grafeno

El grafeno, un cristal de carbono bidimensional con una estructura de capa de un solo átomo con hibridación sp^2 , posee excelentes propiedades materiales. El grafeno consiste en una red hexagonal unitaria, organizada en una estructura de panal repetitiva. Existen varios tipos de grafeno y nanomateriales de la familia del grafeno (GFN), incluidos el grafito, el grafeno, el óxido de grafito, el óxido de grafeno y el grafito expandido (Ahmed, 2019, p.2).

Los materiales a base de grafeno (GBM), en particular el óxido de grafeno (GO), se encuentran entre los rellenos que se pueden usar con bioplásticos. Las ventajas de usar GO como nanorelleno de refuerzo incluyen la fácil disolución en matriz bioplástica, área de superficie alta y biocompatibilidad, y herencia de caracteres de grafeno (es decir, fuerte y flexible) (Vasseghian et al., 2022, p.18).

2.2.10. Biodegradabilidad

La investigación sobre biocompuestos a base de grafeno está en curso y uno de los principales objetivos es demostrar que la propiedad de biodegradabilidad permanece sin cambios. Al combinar concentraciones de grafeno con biopolímeros se mejora la estabilidad mecánica y se reduce ligeramente la tasa de degradación, tal y como se demuestra en un ensayo realizado durante 120 días en compost (Vasseghian et al., 2022, p.18).

2.2.11. Óxido de Grafeno

El óxido de grafeno (GO) es grafeno modificado químicamente que contiene grupos funcionales portadores de oxígeno que pueden reducir su estabilidad térmica (Vasseghian et al., 2022, p.18). El GO tiene propiedades similares al grafeno, pero es más fácil y económico de producir. Por ejemplo, a través de la exfoliación química de grafito en medio oxidativo, se obtiene GO estable (Casallas et al., 2020, p.10).

El GO se puede sintetizar por varios métodos; el método de Brodie reportado en 1859 fue el primer método en el que se utiliza HNO_3 fumante y $KClO_3$ como agente de intercalación y oxidante, respectivamente. En 1958, Hummers y Offerman desarrollaron un método para la síntesis de GO. Este método utiliza H_2SO_4 para exfoliar el grafito y $NaNO_3$ y $KMnO_4$ como agentes oxidantes del grafito. El método Hummers tiene algunas ventajas en comparación con el método de Brodie y Staudenmaier. Primero, el $KMnO_4$ como oxidante fuerte ayuda a acelerar la

reacción de síntesis y que esta se pueda alcanzar en unas pocas horas. En segundo lugar, no se utiliza clorato, lo que elimina la posibilidad de explosión de ClO_2 . En tercer lugar, la sustitución de la fumigación por $NaNO_3$ elimina la neblina ácida producida HNO_3 . Por lo tanto, este método puede ser un enfoque efectivo para producir GO a gran escala (Sujiono et al., 2020, p.4).

2.2.12. Método de Hummers modificado

El método más utilizado para sintetizar óxido de grafeno (GO) es el método de Hummers, que se utiliza desde 1958, es el más utilizado para sintetizar óxido de grafeno (GO) a partir de grafito. El método es menos peligroso ya que se utilizó permanganato de potasio ($KMnO_4$) en lugar de clorato de potasio ($KClO_3$), como agente oxidante. Se han introducido diversas modificaciones al método Hummers en el proceso de oxidación, con el fin de mejorar la calidad del GO, ahorrar tiempo y hacer el proceso más ecológico lo que ha dado lugar a el método Hummers modificado. La formación de GO a partir de grafito implica tres pasos. En el primer paso, el grafito se convierte en un compuesto de intercalación de grafito (GIC) de etapa 1, con ácido sulfúrico (H_2SO_4) comúnmente utilizado como agente de intercalación. En el segundo paso, el GIC de etapa 1 se convierte en grafito oxidado prístino (PGO). Este paso determinante de la velocidad hace que todo el proceso de difusión esté controlado. En el tercer paso, PGO se convierte en GO tras la exposición al agua. Por lo tanto, la intercalación de grafito es necesaria para la exfoliación posterior al preparar GO. Para superar las deficiencias del método tradicional de Hummers, los investigadores han propuesto métodos mejorados de Hummers que utilizan permanganato de potasio ($KMnO_4$) como el principal oxidante del grafito y algunos agentes auxiliares, incluido el nitrato de sodio ($NaNO_3$) para mejorar el rendimiento de GO. Sin embargo, el proceso sintético de GO afecta sus propiedades finales, lo que dificulta el control preciso de la estructura de GO (Hou et al., 2020, p.2394). El proceso de dos pasos para obtener grafeno a partir de óxido de grafito requiere primero exfoliar el material a granel y luego reducir las láminas individuales a grafeno. La exfoliación generalmente se logra sonicando óxido de grafito en agua, seguido de centrifugación. El sobrenadante de este procedimiento es coloidal y contiene láminas de óxido de grafeno de una o pocas capas (Whitener y Sheehan, 2014, p.4).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

El enfoque del presente trabajo de investigación es de naturaleza tanto cualitativa como cuantitativa. Desde el enfoque cualitativo se busca generar teorías con respecto al óxido de grafeno y desde el enfoque cuantitativo interpretar los datos obtenidos de la experimentación.

3.2. Nivel de investigación

Dentro de las metas de investigación busca ofrecer aportes para solucionar los problemas de contaminación por plásticos y la necesidad de reforzar los bioplásticos a base de almidón de malanga.

3.3. Diseño de investigación

Para cumplir los objetivos del estudio se basará en un diseño experimental mediante la variación de la variable independiente (óxido de grafeno) para producir un bioplástico de malanga con mejores, iguales o peores características físicas, mecánicas y biológicas.

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente (*no experimental, casi experimental, experimental*)

El tipo de investigación aplicado es experimental puesto que se observará el efecto de la variable independiente, que en este caso de estudio corresponde a la concentración de óxido de grafeno, sobre las variables dependientes, que corresponderían a las propiedades funcionales del bioplástico obtenido.

Tabla 1-3: Variables de los procesos

N°	Etapas del proceso	Variables Independientes	Variables Dependientes
1	Extracción del almidón	<ul style="list-style-type: none">○ Cantidad de materia prima (malanga)○ Agua	<ul style="list-style-type: none">○ Almidón de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)

2	Síntesis del óxido de grafeno (GO)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Reactivos usados en el método de Hummers 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura
3	Obtención del bioplástico a base de almidón	<ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura ○ Aditivos plastificantes 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Humedad ○ Permeabilidad ○ Espesor ○ Tracción

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 2-3: Diseño del muestreo para el proceso de elaboración de bioplásticos reforzados con óxido de grafeno

N°	Composición	Óxido de Grafeno (ml)	Repeticiones
1	AG	0,5	1
2			2
3			3
4			4
5		1	1
6			2
7			3
8			4
9		1,5	1
10			2
11			3
12			4
13		2	1
14			2
15			3
16			4
17		2,5	1
18			2
19			3
20			4
21		3	1
22			2
23			3
24			4

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo (transversal, longitudinal)

Para el trabajo de campo se llevará cabo una investigación longitudinal en donde las variables de proceso no van a permanecer constantes a lo largo del estudio y sus etapas que corresponde a la extracción del almidón, la síntesis del GO y finalmente la obtención del bioplástico.

3.4. Tipo de Estudio

Para la parte de revisión bibliográfica de los análisis y métodos que se tomarán en cuenta en este estudio se debe aplicar un estudio documental en el que se recopile la información necesaria para la fundamentación teórica del trabajo de investigación. Por otra parte para la experimentación de debe aplicar un estudio de campo dentro del laboratorio, tanto para pruebas para determinar la concentración óptima de óxido de grafeno como para ejecutar los procesos de extracción del almidón, elaboración de láminas de bioplásticos y síntesis del GO.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. Población y Planificación

La población del presente trabajo de investigación corresponderá a la especie de malanga (*Colocasia esculenta*), misma que se seleccionó selectivamente de los mercados de la ciudad de Riobamba, adquiriendo una cantidad inicial de materia prima de 10 kg, que servirán para los posteriores tratamientos y procesos de elaboración.

3.5.2. Selección y tamaño de la muestra

La metodología de muestreo a aplicar en el presente estudio concierne a una de tipo no probabilístico, puesto que las muestras de almidón extraídas no fueron consideradas al azar, sino que dependen exclusivamente del proceso de extracción y el método aplicado.

El tamaño de la muestra para la elaboración de las láminas de bioplástico corresponde a 6 tratamientos de acuerdo a la manipulación variable independiente (concentraciones de GO) con 4 repeticiones respectivamente.

Tabla 3-3: Diseño del muestreo para el proceso de elaboración de bioplásticos reforzados con óxido de grafeno.

N°	Composición	Óxido de Grafeno	Repeticiones
1	AG	GO1	1
2			2
3			3
4			4
5		GO2	1
6			2
7			3
8			4
9		GO3	1
10			2
11			3
12			4
13		GO4	1
14			2
15			3
16			4
17		GO5	1
18			2
19			3
20			4
21		GO6	1
22			2
23			3
24			4

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Técnica de extracción para el almidón de la Malanga

Tabla 4-3: Técnica de Extracción para el almidón de Malanga

Método	Procedimiento	Método de Ensayo
Extracción por vía Húmeda	<ul style="list-style-type: none">• Se limpiaron, pelaron y lavaron tubérculos de <i>Colocasia Esculenta</i> (Taro) (3 kg).• Se cortó y se trituró en una pasta usando una licuadora comercial.• El volumen de la pasta se llevó a 5 L usando agua destilada y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 6 h.• Se filtró con una tela de muselina de la que se recogió el residuo, para eliminar el exceso de agua de los residuos.• El residuo recogido se secó en estufa de aire caliente durante 2 días a 50 °C. A continuación, el residuo seco se pulverizó utilizando un mezclador comercial, se tamizó y se almacenó a temperatura ambiente.	(Shanmathy y otros, 2021)

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

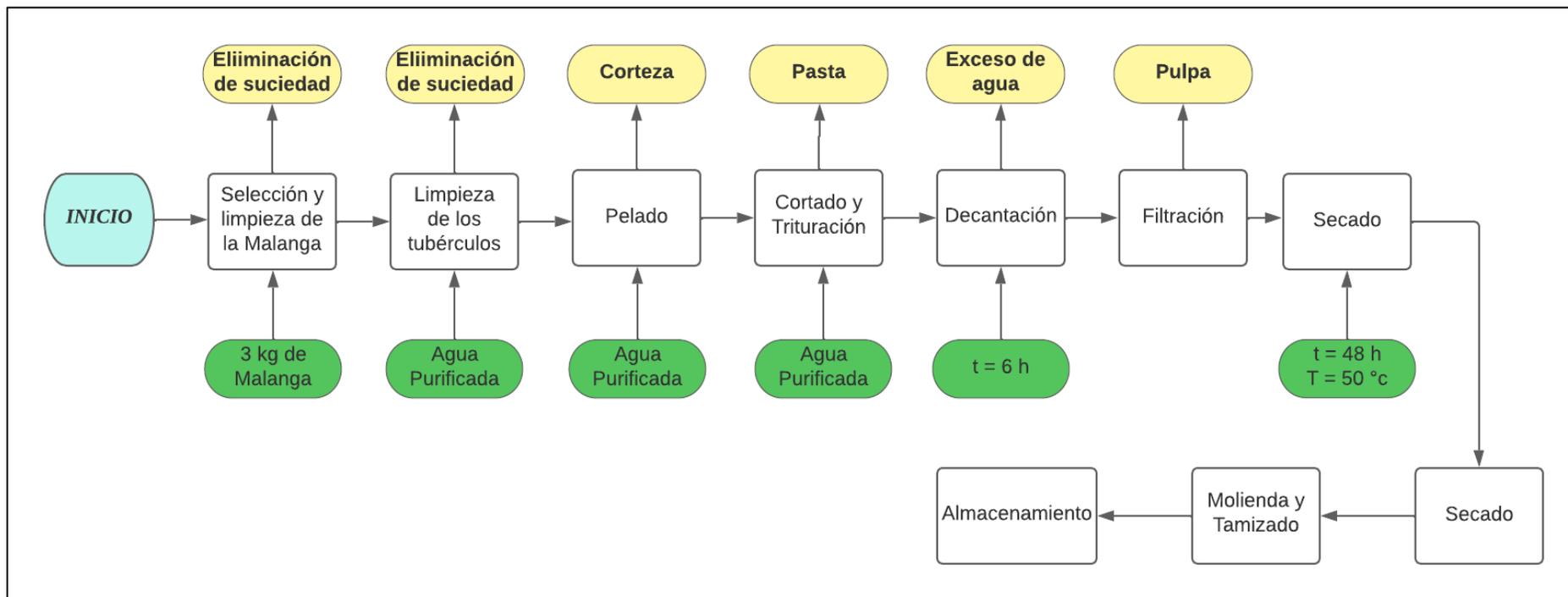


Ilustración 1-3: Diagrama de Flujo para la extracción del almidón de Malanga

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

3.6.2. Caracterización del almidón de malanga

Tabla 4-3: Caracterización del almidón de malanga

N°	Análisis	Procedimiento	Fórmula	Método
1	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 5g de almidón de malanga • Encender la estufa a 105 °C y colocar la muestra por 24 horas • Registrar el peso final de las muestras • Repetir tres veces y sacar una media. 	$\% H = \frac{P_i - P_f}{P_i}$ <p>Ecuación 1-3: Cálculo del porcentaje de Humedad</p>	Gravimétrico
2	Ceniza	<ul style="list-style-type: none"> • Calentar la cápsula donde se colocará la muestra en una mufla a 550 °C. Después enfriar en el desecador y pesar. • Pesar de 5 a 10 g de muestra en la cápsula. • Carbonizar a baja temperatura e incinerar a 550 °C en la mufla. • Enfriar en el desecador a temperatura ambiente y registrar el peso final. • Repetir las operaciones de calentamiento y enfriamiento hasta obtener pesos constantes 	$\% \text{ Cenizas} = \frac{100 \times N}{P}$ <p>Ecuación 2-3: Cálculo de porcentaje de cenizas N = g de cenizas P = g de muestra</p>	(Instituto Adolfo Lutz, 2008)
3	pH	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 100 g de muestra • Diluir en 100 ml de agua destilada • Agitar hasta obtener una suspensión uniforme • Determinar el pH con el equipo calibrado 	Medición directa en el pH metro	(Instituto Adolfo Lutz, 2008)

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 5-3: Análisis del almidón de malanga

N°	Análisis	Procedimiento	Fórmula	Método
1	Gelatinización	<ul style="list-style-type: none"> • Calentar 250 ml de agua destilada a 85 °C • Pesar 10 g de almidón y disolver a 100 ml con agua. • Colocar la disolución en el baño María, agitar y tomar la temperatura a la cual se obtenga una contextura de pasta • Registrar la temperatura de gelatinización. 	Medición directa en el termómetro	(Ai & Jane, 2016)
2	Viscosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 50 g de sustancia seca de almidón • Agregar agua destilada hasta que el peso total del almidón y el agua sea de 500 g en un vaso de precipitación. • Colocar el vaso de precipitación en baño María y agite a 250 RPM durante 15 minutos adicionales • Enfriar con agua corriente a 50 °C. • Medir la viscosidad en centipoises a 50 °C, 100 RPM y usando el husillo N° 2 	Medición directa en el viscosímetro	Método Brookfield (International Starch Institute, 2002)
3	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 1,25 g de muestra y colocarla en 30 ml de agua y agitar. • Transferir la suspensión a baño María durante 30 minutos • Centrifugar la muestra a 4900 RPM durante 30 minutos • Decantar el sobrenadante y medir el volumen • Tomar 10 ml del sobrenadante, colocar en un vaso de 50 ml y secar en un horno a 70 °C • Pesar el vaso de precipitados con los insolubles. 	$ISA = \frac{P_{sol} \times V \times 10}{P_{muestra}}$ <p>Ecuación 3-3: Ecuación para el cálculo del Índice de solubilidad en agua</p> <p>P_{sol} = Peso de solubles</p>	(FAO, 2007)

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

3.6.3. Técnica de síntesis del óxido de grafeno

Tabla 6-3: Técnica de obtención del GO

Método	Procedimiento	Método de Ensayo
Método de Hummers	<ul style="list-style-type: none"> • Armar el reactor para la obtención del GO, con un balón redondo de 3 bocas y un sistema de agitación • Pesarse 3g de grafito y adicionar 70 ml de H_2SO_4 en el reactor y encender el sistema de agitación • Cada 45 minutos agregar 9 g de $KMnO_4$ supervisando que la temperatura no supere 20 °C • Realizar baño de aceite para que la temperatura alcance los 50 °C durante 30 minutos. • Añadir gota a gota 150 ml de agua destilada por 20 minutos sin sobrepasar 20 °C. • Enfriar con hielo si la temperatura aumenta más de 90 °C • Añadir al reactor 500 ml de agua destilada y añadir gota a gota 15 ml de Peróxido de hidrógeno hasta obtener una tonalidad en la solución de color café • Centrifugar la solución a 3000 RPM durante 30 minutos • Lavar con HCl 1:10 • Seguir con el procedimiento anterior hasta obtener un pH 7 • Secar en recipiente pírrex a 80 °C por 24 horas, resultando así un producto totalmente seco • El producto se disuelve en relación 1:1 con agua destilada. • Centrifugar la disolución a 1000 RPM por 30 minutos. • El sobrenadante será el GO y el precipitado el GO que no fue exfoliado. 	(Tubon, 2015)

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

3.6.4. Técnica de obtención del plástico biodegradable

Tabla 7-3: Técnica de obtención del bioplástico a base de almidón de malanga

Método	Procedimiento	Método de Ensayo
Obtención de bioplástico a base de almidón de malanga	<ul style="list-style-type: none">• El polvo de almidón de malanga (3 g) se pesa en un vaso de precipitación.• Añadir 100 ml de agua destilada.• Agitar a 350 rpm durante 10 min en un agitador magnético.• Luego se añade el GO a diferentes concentraciones.• Añadir glicerol (1,5 ml) y se agitó a 350 rpm durante 10 min.• La solución se calienta a 75 °C durante 1,5 h con agitación continua a 250 rpm.• Luego, la suspensión se vierte en una placa de Petri• Secar en un horno de aire caliente a 50 °C• Almacenar a temperatura ambiente.	(Shanmathy y otros, 2021)

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

3.6.5. Caracterización del plástico biodegradable

Tabla 8-3: Caracterización del Bioplástico

N°	Análisis	Procedimiento	Cálculo	Método
1	Espesor	<ul style="list-style-type: none"> Recortar las láminas de bioplástico (10) de 2,5cm x 2,5cm Medir la anchura de las láminas con un pie de rey. 	Medición directa del calibrador	LABORATORIO TECNOLÓGICO DE URUGUAY No 4-2009-INN TEC – 33
2	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> Colocar las láminas de bioplástico en un vaso de precipitados. Añadir 80 ml de agua destilada Agitar a 100 RPM por una hora Filtrar las muestras Colocar las muestras en una estufa a 40 °C hasta que no queden residuos líquidos 	$\% Sol = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$ <p>Ecuación 4-3: Cálculo del Porcentaje de solubilidad P₁= Peso inicial de las láminas de bioplástico secas P₂= Peso final de las láminas de bioplástico</p>	LABORATORIO TECNOLÓGICO DE URUGUAY No 4-2009-INN TEC – 33
3	Propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> La máquina universal de pruebas de tracción nos permite medir el área transversal de las muestras de bioplástico y la velocidad con la cual se deforman Calibrar el equipo Colocar las probetas en la mordaza del equipo. Registrar los valores obtenidos 	Datos obtenidos de forma experimental	NTE INEN 2635

4	Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Secar silica gel en la estufa a 65 °C durante 24 horas • Colocar las láminas de bioplástico en tubos de ensayo con ¾ partes de silica gel • Colocar los tubos de ensayo en el desecador, mismo que debe contener una solución saturada de <i>NaCl</i> • Repetir por 6 veces cada hora 	<p><i>Permeabilidad</i></p> $= \frac{T_{VH20} \times P_{asp}}{P_{VH20} \times (H_{R1} - H_{R1})}$ <p>Ecuación 5-3: Cálculo de Permeabilidad</p> <p>T_{VH20} = Tasa de transmisión de vapor de agua</p> <p>P_{VH20} = Presión de vapor</p> <p>H_{R1} = Humedad relativa de la cámara con la solución NaCl saturada</p> <p>H_{R2} = Humedad relativa en el interior de la cámara</p>	ASTME96/96M05
5	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar las muestras iniciales • Encender la estufa a 105 °C y colocar la muestra por 24 horas • Registrar el peso final de las muestras • Repetir tres veces y sacar una media. 	$\% H = \frac{P_{iLB} - P_{fLB}}{P_{iLB}}$ <p>P_{iLB} = Peso inicial de las muestras de bioplástico</p> <p>P_{fLB} = Peso final de las muestras de bioplástico</p>	Gravimétrico
6	Biodegradabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Cortar láminas de bioplásticos con dimensiones de 4 x 4 cm. • Colocar las muestras en medio exterior, en agua y en tierra orgánicas. • Analizar las pérdidas de áreas por biodegradación mediante el programa Imagen J 	Medición y análisis mediante Image J	Disminución del área superficial

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Datos obtenidos

4.1.1. Almidón

4.1.1.1. Análisis sensorial

Las mejores muestras de materia prima fueron sometidas, a más de las pruebas de experimentación que conlleva la investigación, a un breve análisis sensorial y de caracterización física, tomando de la población total una muestra de 20.

Tabla 1-4: Caracterización materia prima de Malanga

N.º	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	38,100	50,000	31,800
2	35,089	51,200	23,000
3	36,210	58,300	29,500
4	37,112	60,200	32,900
5	39,549	67,900	26,600
6	44,209	71,000	24,300
7	49,208	76,000	44,000
8	50,572	78,500	21,300
9	56,063	83,300	40,800
10	57,010	85,200	22,000
11	61,051	95,300	25,300
12	67,226	96,500	39,400
13	72,427	99,300	41,500
14	77,980	103,500	45,400
15	83,107	104,000	20,800
16	85,452	105,300	30,000
17	87,049	106,200	42,300
18	93,530	106,400	37,800
19	95,119	107,300	45,000
20	96,035	109,000	43,800
PROMEDIO	63,105	85,720	33,375

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.1.2. Extracción del almidón por vía húmeda

El método óptimo para extraer almidón de la malanga se aplicó en el estudio de (Shanmathy et al., 2023, p.4) por vía húmeda, usando 5 litros de agua por cada 3 kg de materia prima aproximadamente. En tanto que para el secado se llevó a 50 °C en una estufa de recirculación de aire caliente durante 2 días. Los valores en gramos del almidón molido y tamizado fueron:

Tabla 2-4: Extracción del almidón vía húmeda

N.º	Malanga con cáscara (g)	Malanga sin cáscara (g)	Vol. Agua (ml)	Almidón (g)	Tiempo de secado (h)
1	10000	459,0650	765	58,9899	48
2		462,7770	765	59,3670	
3		445,0370	765	57,1825	
4		458,1810	765	58,8530	
5		447,0890	765	57,4510	
6		460,0530	765	59,1168	

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.2. Óxido de grafeno

4.1.2.2. Síntesis del GO

La síntesis del óxido de grafeno se realizó por el Método de Hummers explicado en la investigación de (Tubon, 2015, p.32), puesto que es el de mejor rendimiento además que no contamina en comparación a otros métodos.

Tabla 3-4: Síntesis del óxido de grafeno

N.º	Grafito (g)	Óxido de Grafito (g)	Óxido de Grafeno (g)
1	3,500	2,291	2,053

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.3. Bioplásticos

4.1.3.1. Elaboración del blanco

Tabla 4-4: Blanco del bioplástico.

Almidón (g)	Glicerina (ml)	Agua Destilada (ml)	Ácido Acético (ml)	Repetición	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
3	1,5	100	5	R1	24	20
				R2		
				R3		
				R4		

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

El polvo de almidón de malanga (3 g) se pesó en un vaso de precipitados al que se le añadieron 100 ml de agua destilada. Se agitó a 350 rpm durante 10 min en un agitador magnético. Luego se le añadió glicerol (1,5 ml) y se agitó a 350 rpm durante 10 min. La solución se calentó a 75 °C durante 1,5 h con agitación continua a 250 rpm. Luego, la suspensión se vertió en una placa de Petri, se secó en un horno de aire caliente a 50 °C y se almacenó a temperatura ambiente (Shanmathy et al., 2021, p.7).

4.1.3.2. Elaboración con el GO

Tabla 5-4: Bioplásticos con GO

N.º	Tratamiento	Almidón (g)	Glicerina (ml)	Agua destilada (ml)	GO (ml)	Repetición	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
1	TBM1	3	1,5	100	0,5	R1	24	20
						R2		
						R3		
						R4		
2	TBM2				1	R1		
						R2		
						R3		
						R4		
3	TBM3				1,5	R1		
						R2		
						R3		
						R4		

4	TBM4				2	R1		
						R2		
						R3		
						R4		
5	TBM5				2,5	R1		
						R2		
						R3		
						R4		
6	TBM6				3	R1		
						R2		
						R3		
						R4		

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.3.3. Ensayo de humedad

Tabla 6-4: Resultados de humedad

N.º	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	TBM1	R1	0,553	0,453
		R2	0,315	0,265
		R3	0,511	0,429
2	TBM2	R1	0,546	0,464
		R2	0,343	0,295
		R3	0,317	0,257
3	TBM3	R1	0,368	0,302
		R2	0,340	0,291
		R3	0,433	0,358
4	TBM4	R1	0,451	0,387
		R2	0,480	0,404
		R3	0,281	0,240
5	TBM5	R1	0,254	0,206
		R2	0,552	0,454
		R3	0,229	0,187
6	TBM6	R1	0,293	0,250
		R2	0,372	0,305
		R3	0,587	0,488

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.3.4. Ensayo de solubilidad

Tabla 7-4: Resultados de solubilidad

N.º	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	TBM1	R1	0,453	0,070
		R2	0,265	0,040
		R3	0,429	0,064
2	TBM2	R1	0,464	0,088
		R2	0,295	0,050
		R3	0,257	0,049
3	TBM3	R1	0,302	0,047
		R2	0,291	0,042
		R3	0,358	0,061
4	TBM4	R1	0,387	0,070
		R2	0,404	0,071
		R3	0,240	0,034
5	TBM5	R1	0,206	0,033
		R2	0,454	0,078
		R3	0,187	0,034
6	TBM6	R1	0,250	0,046
		R2	0,305	0,053
		R3	0,488	0,085

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.3.5. Espesor

Tabla 8-4: Resultados de la medición de espesor

N.º	Tratamiento	Repetición	M1 (m m)	M2 (m m)	M2 (m m)	M3 (m m)	M4 (m m)	M5 (m m)	M6 (m m)	M7 (m m)	M8 (m m)	M9 (m m)	M10 (m m)
1	TBM1	R1	0,10 0	0,1 00									
		R2	0,10 0	0,1 00									
		R3	0,20 0	0,10 0									
2	TBM2	R1	0,10 0	0,1 00									
		R2	0,10 0	0,1 00									
		R3	0,10 0	0,1 00									
3	TBM3	R1	0,10 0	0,1 00									
		R2	0,20 0	0,10 0	0,1 00								
		R3	0,10 0	0,1 00									
4	TBM4	R1	0,20 0	0,10 0	0,1 00								
		R2	0,20 0	0,10 0	0,1 00								
		R3	0,10 0	0,1 00									
5	TBM5	R1	0,10 0	0,1 00									
		R2	0,10 0	0,1 00									
		R3	0,20 0	0,10 0	0,1 00								
6	TBM6	R1	0,10 0	0,1 00									
		R2	0,10 0	0,1 00									
		R3	0,10 0	0,1 00									

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.3.6. Ensayos de permeabilidad

Tabla 9-4: Resultados de permeabilidad

N.º	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (24 h) (g)
1	TBM1	R1	34,938	34,952
		R2	33,847	33,860
		R3	34,525	34,530
2	TBM2	R1	34,852	34,863
		R2	36,334	36,346
		R3	33,368	33,378
3	TBM3	R1	32,636	32,645
		R2	35,599	35,607
		R3	34,141	34,148
4	TBM4	R1	34,134	34,140
		R2	34,088	34,093
		R3	33,128	33,134
5	TBM5	R1	36,209	36,213
		R2	34,480	34,485
		R3	33,857	33,860
6	TBM6	R1	33,407	33,410
		R2	34,568	34,571
		R3	32,274	32,278

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.1.3.7. Pruebas de degradabilidad

Tabla 10-4: Degradabilidad en suelo

N.º	Tratamiento	Área inicial (cm ²)	Área final (cm ²)
1	TBM1	15,097	11,322
2	TBM2	16,049	12,056
3	TBM3	9,452	7,089
4	TBM4	11,487	8,615
5	TBM5	10,654	7,991
6	TBM6	16,151	12,113

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 11-4: Degradabilidad en agua.

N.º	Tratamiento	Área inicial (cm ²)	Área final (cm ²)
1	TBM1	10,350	2,053
2	TBM2	8,705	1,306
3	TBM3	9,971	1,795
4	TBM4	8,510	1,362
5	TBM5	10,115	1,922
6	TBM6	9,910	1,883

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 12-4: Degradabilidad al aire libre.

N.º	Tratamiento	Área inicial (cm ²)	Área final (cm ²)
1	TBM1	15,641	13,233
2	TBM2	13,599	11,647
3	TBM3	9,716	8,253
4	TBM4	9,290	7,868
5	TBM5	10,317	9,592
6	TBM6	11,658	10,492

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.2. Cálculos

4.2.1. Almidón

4.2.1.1. Rendimiento extracción del almidón

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del almidón extraído (g)}}{\text{Peso de la materia prima pelada (g)}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 1} = \frac{58,989 \text{ g}}{459,065 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 1} = 12,849$$

$$\% \text{Rendimiento 2} = \frac{59,367 \text{ g}}{462,777 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 2} = 12,828$$

$$\% \text{Rendimiento 3} = \frac{57,183 \text{ g}}{445,037 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 3} = 12,849$$

$$\% \text{Rendimiento 4} = \frac{58,853 \text{ g}}{458,181 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 4} = 12,844$$

$$\% \text{Rendimiento 5} = \frac{57,451 \text{ g}}{447,089 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 5} = 12,850$$

$$\% \text{Rendimiento 6} = \frac{59,117 \text{ g}}{460,053 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento 6} = 12,850$$

4.2.1.2. Porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad (1)} = \frac{5,003 \text{ g} - 4,317 \text{ g}}{5,003 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad (1)} = 13,712$$

$$\% \text{ Humedad (2)} = \frac{5,001 \text{ g} - 4,225 \text{ g}}{5,003 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad (2)} = 15,517$$

$$\% \text{ Humedad (3)} = \frac{5,000 \text{ g} - 4,301 \text{ g}}{5,000 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad (3)} = 13,980$$

4.2.1.3. Contenido de ceniza

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas (g)}}{\text{Peso de la muestra de almidón seca (g)}} \times 100$$

$$\% \text{Cenizas (1)} = \frac{0,023}{5,000} \times 100$$

$$\% \text{Cenizas (1)} = 0,460$$

$$\% \text{Cenizas (2)} = \frac{0,027}{5,011} \times 100$$

$$\% \text{Cenizas (2)} = 0,539$$

$$\% \text{Cenizas (3)} = \frac{0,025}{5,003} \times 100$$

$$\% \text{Cenizas (3)} = 0,499$$

4.2.1.4. Índice de solubilidad

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times \text{Vol. sobrenadante} \times \frac{10}{\text{ml}}}{\text{Peso muestra seca (g)}}$$

$$\text{ISA} = \frac{0,002 \text{ g} \times 30 \text{ ml} \times \frac{10}{\text{ml}}}{1,248 \text{ (g)}}$$

$$\text{ISA} = 0,481$$

4.2.2. Óxido de grafeno

4.2.2.1. Rendimiento obtención del óxido de grafito

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso del óxido de grafito (g)}}{\text{Peso del grafito en polvo (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{2,291 \text{ g}}{3,500 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 65,46$$

4.2.2.2. Rendimiento obtención del óxido de grafeno

$$\% \text{ Rendimiento GO} = \frac{\text{Peso del óxido de grafeno (g)}}{\text{Peso del óxido de grafito (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento GO} = \frac{2,053 \text{ g}}{2,291 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento GO} = 89,611$$

4.2.3. Bioplástico

4.2.3.1. Porcentaje de solubilidad

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial seco (g)} - \text{Peso final seco (g)}}{\text{Peso inicial seco (g)}} \times 100$$

- TMB1

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{0,453 - 0,070}{0,453} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 84,547$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = \frac{0,265 - 0,040}{0,453} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = 84,905$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = \frac{0,429 - 0,064}{0,429} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = 85,081$$

- TMB2

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{0,464 - 0,088}{0,464} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 81,034$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = \frac{0,295 - 0,050}{0,295} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = 83,050$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = \frac{0,257 - 0,049}{0,257} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = 80,933$$

- TBM3

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{0,302 - 0,047}{0,302} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 84,437$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = \frac{0,291 - 0,042}{0,291} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = 85,567$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = \frac{0,358 - 0,061}{0,358} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = 82,961$$

- TBM4

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{0,387 - 0,070}{0,387} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 81,912$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = \frac{0,404 - 0,071}{0,404} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = 82,426$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = \frac{0,240 - 0,034}{0,240} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = 85,830$$

- TBM5

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{0,206 - 0,033}{0,206} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 83,980$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = \frac{0,454 - 0,078}{0,454} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = 82,819$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = \frac{0,187 - 0,034}{0,187} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = 81,810$$

- TBM6

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{0,250 - 0,046}{0,250} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 81,600$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = \frac{0,305 - 0,053}{0,305} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R2} = 82,623$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = \frac{0,488 - 0,085}{0,488} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R3} = 82,581$$

4.2.3.2. Tasa de transmisión de vapor de agua

La tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) de las películas bioplásticas se evaluó utilizando el estándar ASTM E96. Las películas se cortaron en discos de 2 cm de diámetro, cuyo diámetro era 0,5 cm mayor que el de los tubos a tapar (Shanmathy et al., 2021, p.65).

$$WVTR = \frac{(P2 - P1)}{A \times 24} \times 10^4$$

- TBM1

$$WVTR (R1) = \frac{(34,952 - 34,938)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R1) = 0,464 \frac{g}{\text{m}^2}$$

$$WVTR (R2) = \frac{(33,860 - 33,847)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R2) = 0,431 \frac{g}{\text{m}^2}$$

$$WVTR (R3) = \frac{(34,530 - 34,525)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R3) = 0,498 \frac{g}{\text{m}^2}$$

- TBM2

$$WVTR (R1) = \frac{(34,863 - 34,852)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R1) = 0,364 \frac{g}{\text{m}^2}$$

$$WVTR (R2) = \frac{(36,346 - 36,334)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R2) = 0,398 \frac{g}{\text{m}^2}$$

$$WVTR (R3) = \frac{(33,378 - 33,368)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R3) = 0,331 \frac{g}{\text{m}^2}$$

- TBM3

$$WVTR (R1) = \frac{(32,645 - 32,636)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R1) = 0,299 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R2) = \frac{(35,607 - 35,599)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R2) = 0,265 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R3) = \frac{(34,148 - 34,141)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R3) = 0,232 \frac{g}{m^2}$$

- TBM4

$$WVTR (R1) = \frac{(34,140 - 34,134)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R1) = 0,199 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R2) = \frac{(34,093 - 34,088)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R2) = 0,166 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R3) = \frac{(33,134 - 33,128)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R3) = 0,199 \frac{g}{m^2}$$

- TBM5

$$WVTR (R1) = \frac{(36,213 - 36,209)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R1) = 0,132 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R2) = \frac{(34,485 - 34,480)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R2) = 0,166 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R3) = \frac{(35,860 - 33,857)g}{0,001256 \text{ m}^2 \times 24}$$

$$WVTR (R3) = 0,100 \frac{g}{m^2}$$

- TBM6

$$WVTR (R1) = \frac{(33,410 - 33,407)g}{0,001256 m^2 \times 24}$$

$$WVTR (R1) = 0,100 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R2) = \frac{(34,571 - 34,568)g}{0,001256 m^2 \times 24}$$

$$WVTR (R2) = 0,100 \frac{g}{m^2}$$

$$WVTR (R3) = \frac{(32,278 - 32,274)g}{0,001256 m^2 \times 24}$$

$$WVTR (R3) = 0,132 \frac{g}{m^2}$$

4.2.3.3. Porcentaje de degradabilidad

$$\% \text{ Degradabilidad} = \frac{\text{Área inicial (cm}^2\text{)} - \text{Área final (cm}^2\text{)}}{\text{Área inicial (cm}^2\text{)}} \times 100$$

- TBM1

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = \frac{(15,097 - 11,322)cm^2}{(15,097cm^2)} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = 25,005$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = \frac{(10,350 - 2,053)cm^2}{(15,097cm^2)} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = 80,164$$

- TBM2

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = \frac{(16,049 - 12,056)cm^2}{(16,049) cm^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = 24,880$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = \frac{(8,705 - 1,306)cm^2}{(8,705cm^2)} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = 84,997$$

- TBM3

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = \frac{(9,452 - 7,089)\text{cm}^2}{(9,452) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = 25,053$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = \frac{(9,971 - 1,306)\text{cm}^2}{(9,971) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = 86,902$$

- TBM4

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = \frac{(11,487 - 8,615)\text{cm}^2}{(11,487) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = 25,089$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = \frac{(8,510 - 1,362)\text{cm}^2}{(8,510) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = 83,995$$

- TBM5

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = \frac{(10,654 - 7,991)\text{cm}^2}{(10,654) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = 24,995$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = \frac{(10,115 - 1,922)\text{cm}^2}{(10,115) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = 80,999$$

- TBM6

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = \frac{(16,151 - 12,113)\text{cm}^2}{(16,151) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (suelo)} = 25,002$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = \frac{(9,910 - 1,873)\text{cm}^2}{(9,910) \text{ cm}^2} \times 100$$

$$\% \text{ Degradabilidad (agua)} = 81,100$$

4.3. Resultados

4.3.1. Almidón

4.3.3.1. Caracterización física del almidón

Tabla 13-4: Análisis sensorial de la materia prima

N.º	Características		
	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	63,105	85,720	33,375

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.3.1.2. Rendimiento extracción del almidón

Tabla 14-4: Rendimiento extracción vía húmeda

N.º	Producto	Repetición	Rendimiento (%)
1	Almidón de malanga	R1	12,849
2		R2	12,828
3		R3	12,849
4		R4	12,844
5		R5	12,850
6		R6	12,850
PROMEDIO			12,845

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

De acuerdo al segundo método de extracción realizado por Gonzales (2020, p.69) con agua destilada para obtener almidón de malanga se obtuvo un rendimiento promedio del 13,51%, comparado con este estudio los valores obtenidos son muy cercanos con un porcentaje de rendimiento del 12,85%. La diferencia puede existir por la calidad en la materia prima, así como del tamaño y longitud de los mismo, siendo de menor diámetro las utilizadas en la presente investigación.

4.3.1.3. Caracterización del almidón

Tabla 15-4: Análisis proximal del almidón de malanga

Parámetro	Unidad	Valor
Humedad	%	14,403
Ceniza	%	0,499

Solubilidad	%	0,481
pH	-	6,030
Temperatura de gelatinización	°C	75
Amilosa	%	26,24
Amilopectina	%	73.76

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.3.2. Óxido de grafeno

4.3.2.1. Rendimiento de la síntesis

Tabla 16-4: Rendimiento síntesis de GO y óxido de grafito

N.º	Rendimiento	Valor (%)
1	Óxido de Grafito	65,460
2	Óxido de Grafeno	89,611

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

En la síntesis del óxido de grafito se obtiene un rendimiento del 65,460% debido a las pérdidas de material que se iban efectuando durante todo el proceso, como es el caso de los lavados hasta tratar de alcanzar un pH entre 6-7. Por su parte en la síntesis del óxido de grafeno se obtiene un muy buen rendimiento, por lo que se demuestra que el método de Hummers modificado ofrece una óptima oxidación del óxido de grafito sin pérdidas significativas.

4.3.3. Bioplásticos

4.3.3.1. Características de las láminas de bioplástico

Se realizaron comparaciones entre el bioplástico sin el refuerzo del óxido de grafeno (blanco) y aquellos con las diferentes concentraciones de GO. El fin es evaluar el margen de mejoramiento que tiene el GO como aditivo complementario en la formulación de bioplásticos de malanga.

Tabla 17-4: Análisis preliminar de los blancos

Repetición	Peso (g)	Espesor (mm)	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
R1	0,224	0,100	SI	SI	Transparente	SI
R2	0,217	0,100	SI	SI	Transparente	SI
R3	0,204	0,100	SI	SI	Transparente	SI
R4	0,230	0,100	SI	SI	Transparente	SI

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 18-4: Análisis preliminar de los bioplásticos con GO

N.º	Tratamiento	Repetición	Peso (g)	Espesor (mm)	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
1	TBM1	R1	0,553	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R2	0,315	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R3	0,511	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R4	0,546	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
2	TBM2	R1	0,343	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R2	0,317	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R3	0,368	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R4	0,340	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
3	TBM3	R1	0,433	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R2	0,451	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R3	0,480	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R4	0,281	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
4	TBM4	R1	0,254	0,200	SI	SI	Opaco	SI
		R2	0,552	0,200	SI	SI	Opaco	SI
		R3	0,229	0,200	SI	SI	Opaco	SI
		R4	0,293	0,200	SI	SI	Opaco	SI

5	TBM5	R1	0,372	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R2	0,587	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R3	0,553	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R4	0,315	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
6	TBM6	R1	0,511	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R2	0,546	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R3	0,343	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R4	0,317	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.3.3.2. Pruebas físicas del bioplástico

Tabla 19-4: Ensayos físicos del bioplástico

N.º	Tratamiento	Humedad (%)	Solubilidad (%)	Permeabilidad (g/m ² día)
1	TBM1	16,668	84,844	0,464
2	TBM2	15,980	81,692	0,364
3	TBM3	16,556	84,322	0,299
4	TBM4	14,871	83,389	0,166
5	TBM5	18,331	82,673	0,132
6	TBM6	16,517	82,268	0,100

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.3.3.3. Pruebas de biodegradabilidad

Para la evaluación de la biodegradabilidad de los bioplásticos con las distintas concentraciones de GO en 3 diferentes ambientes se obtuvieron que al aire libre el TBM1 presentó el mayor porcentaje de degradabilidad con un 21,450% por otra parte el TBM3 fue el menor con un porcentaje de 19,005%. En suelo se obtuvieron valores relativamente más altos sin muchas diferencias entre porcentajes siendo el TBM4 el de mayor degradabilidad con un 25,089% y el TBM6 el de menor con un 24,878%. Los mayores valores de biodegradabilidad se obtuvieron en agua con valores muchos más altos comparados con los dos ambientes anteriores, resultando el TBM3 de mayor porcentaje con un 86,902% y el de menor porcentaje con un 80,164 el TBM1.

Tabla 20-4: Porcentajes de degradabilidad

N.º	Tratamiento	Degradabilidad (%)		
		Agua	Suelo	Ambiente
1	TBM1	80,164	25,005	21,450
2	TBM2	84,997	24,880	19,861
3	TBM3	86,902	25,053	19,005
4	TBM4	83,995	25,089	20,976
5	TBM5	80,999	24,995	20,568
6	TBM6	81,100	24,878	19,970

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.3.3.4. Pruebas mecánicas

La probeta de la muestra de bioplástico sin óxido de grafeno se sometió a la máquina universal para pruebas de tracción y se obtuvieron los resultados que se muestran en la siguiente tabla. Con el fin de comparar y demostrar la mejora de sus propiedades mecánicas.

Tabla 21-4: Resultados pruebas mecánicas del blanco

N.º	Tratamiento	Módulo elástico (MPa)	Máxima carga (N)	Máximo desplazamiento (mm)	Máximo esfuerzo (MPa)	Máxima deformación (%)	Rotura Carga (N)
1	Blanco	4,340	0,899	2,207	0,456	8,913	0,401

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 22-4: Resultados pruebas mecánicas del bioplástico con GO

N.º	Tratamiento	Módulo elástico (MPa)	Máxima carga (N)	Máximo desplazamiento (mm)	Máximo esfuerzo (MPa)	Máxima deformación (%)	Rotura Carga (N)
1	TBM1	25,515	2,523	2,587	2,199	10,225	0,652
2	TBM2	25,847	2,771	3,431	1,092	9,849	0,719
3	TBM3	28,080	3,412	4,394	3,834	9,007	0,703
4	TBM4	33,482	3,862	3,424	1,481	9,665	0,546
5	TBM5	37,686	3,586	3,665	2,929	10,439	0,571
6	TBM6	26,249	2,761	2,442	1,936	9,707	0,677

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Los seis tratamientos de bioplástico con óxido de grafeno y sus respectivas probetas también se sometieron a las pruebas mecánicas, que desde una primera vista ha demostrado una amplia mejora, solo queda determinar qué tratamiento es el mejor para su aplicación futura. Para ello se

aplica la herramienta estadística de análisis de varianza ANOVA, complemento que es usado en la aplicación EXCEL. Tomando como margen de error al 0,05 para los análisis.

Tabla 23-4: Módulo elástico

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBM1	4	102,06	25,515	125,902
TBM2	4	103,389	25,847	129,552
TBM3	4	112,318	28,080	225,323
TBM4	4	133,927	33,482	31,4383
TBM5	4	150,742	37,686	24,664
TBM6	4	104,995	26,249	23,672

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

En la propiedad de módulo elástico se determinó que el TBM6 fue el de menor varianza, por su parte el TBM5 obtuvo el mayor promedio de valor.

Tabla 24-4: Análisis ANOVA del Módulo elástico

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	498,658	5	99,731	1,067	0,410	2,772
Dentro de los grupos	1681,659	18	93,425			
Total	2180,318	23				

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

De acuerdo al análisis ANOVA aplicado, la probabilidad se calculó en un valor de 0,410 que es mayor que el margen de 0,05 establecido en esta prueba de varianza. Por lo que se afirma que no existen diferencias entre los valores, hablando estadísticamente. Por lo que cualquier valor se podría considerar. En este caso el de mayor valor promedio que es el del TBM5.

Tabla 25-4: Máxima Carga

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBM1	4	10,092	2,523	0,841
TBM2	4	11,082	2,771	0,877
TBM3	4	13,648	3,412	1,194
TBM4	4	15,449	3,862	0,898
TBM5	4	14,342	3,586	0,741
TBM6	4	11,045	2,761	0,381

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Para la propiedad de máxima carga se obtuvo la menor varianza en el TBM6 también y el TBM4 fue el de mayor promedio de valor.

Tabla 26-4: Análisis ANOVA de la Carga Máxima

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5,815	5	1,163	1,415	0,266	2,773
Dentro de los grupos	14,792	18	0,822			
Total	20,608	23				

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

El análisis anterior muestra que la probabilidad para los datos de la máxima carga es de 0,266 valor que es mayor que el margen de error de 0,05. Por lo que nuevamente se podrían tomar en cuenta todos los tratamientos sin restricción para elegir el mejor. Para esta propiedad de máxima carga el de mayor promedio fue TBM4 por lo cual es elegido.

Tabla 27-4: Máximo Desplazamiento

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBM1	4	20,108	5,027	0,873
TBM2	4	25,827	6,457	0,212
TBM3	4	30,060	7,515	0,467
TBM4	4	29,512	7,378	0,208
TBM5	4	27,895	6,974	1,062
TBM6	4	24,965	6,241	0,361

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

De acuerdo a la tabla anterior para la propiedad de máximo desplazamiento el tratamiento con la menor varianza es el TBM4, por otro lado, la de mayor promedio es el TBM3.

Tabla 28-4: Análisis ANOVA del Máximo Desplazamiento

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	16,823	5	3,365	6,341	0,001	2,773
Dentro de los grupos	9,551	18	0,531			
Total	26,373	23				

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

La probabilidad calculada en la tabla anterior es de 0,001 valor que es menor al del margen establecido. Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre los valores de varianza, por lo cual no se puede diferenciar con exactitud que valores se pueden considerar o no. Por consecuencia es necesario realizar un análisis más detallado aplicando el de TUKEY, mismo que consiste en comparar un tratamiento con cada uno de los demás en grupos de dos.

Tabla 29-4: Análisis TUKEY del Máximo Desplazamiento

Group 1	Group 2	Mean	P-Value
TBM1	TBM2	1,430	0,108
TBM1	TBM3	2,488	0,002
TBM1	TBM4	2,351	0,003
TBM1	TBM5	1,947	0,015
TBM1	TBM6	1,214	0,223
TBM2	TBM3	1,058	0,352
TBM2	TBM4	0,921	0,496
TBM2	TBM5	0,517	0,911
TBM2	TBM6	0,216	0,998
TBM3	TBM4	0,137	1,000
TBM3	TBM5	0,541	0,894
TBM3	TBM6	1,274	0,184
TBM4	TBM5	0,404	0,967
TBM4	TBM6	1,137	0,282
TBM5	TBM6	0,733	0,714

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Los resultados arrojados representados en la tabla anterior demuestran que las diferencias significativas existen cuando se compara el TBM1 con el TBM3, el TBM1 con el TBM4 y el TBM1 con el TBM5. Por tal razón se considerará solo los tratamientos TBM2 y el TBM6. El mejor tratamiento para esta propiedad es el de mayor promedio el cual corresponde al TBM2.

Tabla 30-4: Máximo Esfuerzo

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBM1	4	13,911	3,478	2,724
TBM2	4	21,971	5,493	2,303
TBM3	4	26,140	6,535	5,276
TBM4	4	25,533	6,383	2,485
TBM5	4	24,598	6,150	2,515
TBM6	4	21,770	5,443	1,048

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

La tabla anterior expresa que, para la propiedad de máximo esfuerzo, el TBM6 representa el tratamiento con menor varianza por otro lado el TBM3 presenta el mayor promedio de valor.

Tabla 31-4: Análisis ANOVA del Máximo Esfuerzo

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	25,310	5	5,062	1,857	0,152	2,773
Dentro de los grupos	49,055	18	2,725			
Total	74,365	23				

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

La probabilidad calculada para los datos de máximo esfuerzo es de 0,152. Resulta ser mayor que el margen de error 0,05 por lo que se considerarán todos los tratamientos al no existir diferencias significativas, dentro de los cuales el de mayo promedio es el de TBM3.

Tabla 32-4: Máxima Deformación

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBM1	4	56,682	14,171	15,217
TBM2	4	76,188	19,047	7,341
TBM3	4	73,148	18,287	9,255
TBM4	4	86,512	21,628	11,883
TBM5	4	83,948	20,987	3,633
TBM6	4	72,775	18,194	1,944

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Para la propiedad de deformación se tiene que el tratamiento con menor varianza es el de TBM5 y el de mayor promedio el TBM4.

Tabla 33-4: Análisis ANOVA del Máxima Deformación

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	138,566044	5	27,7132088	3,72933607	0,01714601	2,77285315
Dentro de los grupos	133,760474	18	7,43113743			
Total	272,326518	23				

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

La probabilidad calculada en la tabla anterior para la propiedad de máxima deformación es de 0,017 valor menor al margen de 0,05. Se consideran entonces diferencias estadísticamente significativas, por lo que no se puede determinar con claridad el mejor tratamiento, por lo que es necesario un análisis TUKEY.

Tabla 34-4: Análisis TUKEY del Máxima Deformación

Group 1	Group 2	Mean	P-Value
TBM1	TBM2	4,877	0,167
TBM1	TBM3	4,617	0,210
TBM1	TBM4	7,458	0,012
TBM1	TBM5	6,817	0,024
TBM1	TBM6	4,023	0,336
TBM2	TBM3	0,260	1,000
TBM2	TBM4	2,581	0,760
TBM2	TBM5	1,940	0,910
TBM2	TBM6	0,853	0,997
TBM3	TBM4	2,841	0,684
TBM3	TBM5	2,200	0,858
TBM3	TBM6	0,593	1,000
TBM4	TBM5	0,641	0,999
TBM4	TBM6	3,434	0,501
TBM5	TBM6	2,793	0,698

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

De acuerdo a la tabla anterior las diferencias significativas se encuentran al comparar TBM1 con el TBM4 y el TBM1 con el TBM5. Es así como solo se considerará los tratamientos TBM2, TBM3, TBM6 para elegir el mejor. Tomando en cuenta el de mayor valor, el TBM2 es el elegido como el mejor para la propiedad de máxima deformación.

Tabla 35-4: Rotura de carga

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBM1	4	2,012	0,503	0,043
TBM2	4	2,752	0,688	0,003
TBM3	4	2,434	0,609	0,021
TBM4	4	2,836	0,709	0,022
TBM5	4	2,849	0,712	0,006
TBM6	4	2,744	0,686	0,005

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

El tratamiento con el menor valor de varianza corresponde el tratamiento TBM2 para la propiedad de rotura de carga, el tratamiento TBM5 tiene el mayor valor de promedio.

Tabla 36-4: Análisis ANOVA de la Rotura de carga

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,134	5	0,027	1,629	0,203	2,773
Dentro de los grupos	0,295	18	0,016			
Total	0,429	23				

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

El análisis ANOVA de la propiedad de rotura de carga, representado en la tabla anterior, arroja que la probabilidad es de 0,203 valor que al ser comparado con el margen es mayor, por ende no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Se elige entonces como mejor tratamiento para esta propiedad al TBM5 por ser el que obtuvo el mayor promedio en las pruebas.

4.3.3.5. Valoración económica

De acuerdo a los insumos, materiales y recursos empleados en la elaboración de almidón de malanga se obtuvo que el costo de producción es de 0,064 centavos de dólar por cada gramo. Esto se debe a que el proceso de obtención del almidón se lo realizó a nivel de laboratorio y existieron pérdidas de materia prima. Al igual que para la obtención de óxido de grafeno donde se obtuvo un costo de producción de 50,200\$ por cada gramo.

Tabla 37-4: Costos de producción por gramo

N.º	Producto	Costo de producción \$/g
1	Almidón	0,064
2	Óxido de grafeno	49,500
3	Óxido de grafeno solución	50,200

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

Tabla 38-4: Costo de producción por lámina de bioplástico

N.º	Producto	Costo de producción \$/g
1	TBM1	0,237
2	TBM2	0,254
3	TBM3	0,258
4	TBM4	0,271
5	TBM5	0,333
6	TBM6	0,347

Realizado por: Sánchez, Christopher, 2022.

4.4. Prueba de Hipótesis

El óxido de grafeno desempeñó un papel muy importante en la mejora de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradables derivadas de Malanga, en comparación con su formulación sin GO, sin variar considerablemente en sus otras propiedades tales como la biodegradabilidad, humedad, solubilidad, etc. Todas las propiedades mecánicas a las que se sometieron las muestras de bioplásticos modificados mostraron un aumento resultando el TBM2 el de mejor rendimiento para las propiedades de máxima deformación y máximo desplazamiento.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Propuesta

El uso de nanopartículas mejora las propiedades mecánicas y de barrera de los polímeros. Esto es importante para reducir los requisitos de materia prima, y su aplicación a los biopolímeros significa que la producción y el uso de nanopartículas pueden ayudar a reducir la dependencia de los materiales derivados del petróleo

A partir de este estudio, se puede concluir que el almidón de Taro se puede utilizar como una fuente potencial para producir películas bioplásticas reforzándolas con nanopartículas. Debido a su tasa reducida de absorción de agua y transmisión de vapor de agua, el bioplástico reforzado se puede usar para aplicaciones de empaque y se puede moldear en películas delgadas.

Los estudios han demostrado que la malanga es una excelente fuente de almidón y los tubérculos contienen un alto porcentaje de este componente. Tiene una gran demanda debido a sus múltiples aplicaciones y usos en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética e incluso en la producción de polímeros naturales. La Malanga Blanca requiere una baja inversión con altos rendimientos para su producción.

CONCLUSIONES

- Se analizó en total 6 tratamientos específicos de bioplásticos con 0,5 ml, 1 ml, 1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml y 3 ml, observando que en cada uno hay un aumento significativo de ciertas propiedades mecánicas.
- Se realizó pruebas y ensayos físicos realizados, como espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad, permite identificar los mejores bioplásticos obtenidos, y se obtienen las propiedades mecánicas como módulo, esfuerzo máximo, tensión, desplazamiento y deformación. Una carga de rotura le permite crear una película de plástico biodegradable. Medir el tiempo de biodegradación que tiene este producto tanto en suelo al aire libre como en agua.
- Se identificó mediante estadística que la cantidad óptima de óxido de grafeno a utilizar es la correspondiente al TBM2, porque al examinar el análisis de varianza para las pruebas mecánicas, las únicas propiedades que permiten evidenciar diferencias significativas entre tratamientos son el máximo desplazamiento y la máxima deformación que mejoran significativamente en más del 90%.
- Los costos de producción del bioplástico de almidón de malanga se cuantificaron mediante la evaluación económica de aditivos como: Óxido de grafeno en solución con un valor de \$49.50. Por lo tanto, la producción de una lámina de 4x4 cm del tratamiento 4 está valorada en \$0,271.

RECOMENDACIONES

- Cuando se sintetiza óxido de grafeno en la solución de limpieza, se produce un residuo que aún contiene el compuesto deseado. Recomendamos almacenarlos y realizar análisis UV-Vis para identificar la presencia de compuestos y encontrar la forma de generar óxidos a partir de ellos. Recoge residuos. No desperdices materiales.
- Al hacer una película de plástico biodegradable en agua, se recomienda utilizar grandes cantidades de agua, ya que la película se hidratará antes de que comience la degradación. Asimismo, se debe humedecer la tierra puesta a descomponer.
- Evitar que la materia prima se oxide al momento de retirar la cáscara ya que podría ocasionar datos erróneos, se recomienda sumergir en agua.
- Manejar correctamente los residuos de fibra generados en la extracción de almidón por vía húmeda, es una cantidad considerable la que se crea, por lo que se podría dar un mejor uso a estos residuos ya sea como abono o en compostaje.

GLOSARIO

Cristalinidad: La estructura cristalina consiste en cadenas de amilopectina en forma de doble hélice, en las cuales los átomos de la molécula (carbono e hidrogeno) se encuentran en posiciones fijas y ordenadas (Geronimo, 2020, p.14).

Exfoliación: Etapa en la que se usa una fuerza que sea capaz de romper las interacciones entre las láminas de grafeno presentes en el grafito. Estas fuerzas pueden ser de cizallamiento, cavitación, expansión y turbulencia (Galindo-Urbe, 2022, p.14).

Gelificación: Son las modificaciones que ocurren cuando los gránulos de almidón se tratan con calor y en medio acuoso. Cuando aplicamos calor a una disolución de almidón, se hinchan los gránulos de almidón por absorción del agua. Desaparece la estructura cristalina del amilopectina (Yovera, 2022, p.2).

Grados de Polimerización: Es el número medio de monómeros que forman las moléculas poliméricas (a veces llamadas macromoléculas). De forma más correcta, el grado de polimerización no es un valor exacto, sino que es una distribución de valores. Aumentar el grado de polimerización (hacer las moléculas poliméricas más largas), implica aumentar la temperatura de fusión del polímero y también aumentar las propiedades mecánicas (Orellana, 2018, p.1).

Hidrólisis: Rompe las cadenas del polisacárido y libera las glucosas. Mediante el proceso de hidrólisis enzimática se pueden obtener mieles y jarabes los cuales se usan en la industria alimentaria o sirven como sustrato para procesos de fermentación (Castillo-Martínez, 2018, p.30).

Nanorelleno: Rellenos de dimensiones nanométricas que mejoran las propiedades de los polímeros termoplásticos utilizando bajas concentraciones de los mismos, en comparación con los rellenos de tamaño micro o macro, debido a su mayor área superficial (Pérez-Ortega, 2019, p.32).

Probetas: Son una de las formas más habituales de ensayo de muestras de un material, debido a que se consiguen unos parámetros geométricos de probeta controlados y por tanto el cálculo de las características del material es mucho más sencillo y preciso (Ibertest, 2022, p.1).

Retrogradación: Insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, al orientarse sus cadenas lineales paralelamente a través de puentes de hidrógeno, durante este proceso, hay pérdida de agua y es un proceso irreversible. Durante la retrogradación del almidón, los gránulos se retraen al haber pérdida de agua y se da una reorganización de los componentes que lo conforman en una estructura cristalina mucho más generalizada que en el almidón nativo (Calabokis, 2020, p.14).

Tracción: Son aquellos mediante los cuales se miden las propiedades mecánicas (alargamiento, límite elástico o carga de rotura, principalmente) que ofrece un material cuando está sometido a dos fuerzas opuestas, o dicho de otro modo, el comportamiento que presenta ese material cuando es sometido a una fuerza y velocidad determinadas (SCISA, 2022, p.1).

BIBLIOGRAFÍA

ADITIKA, S.; et al. “Taro (*Colocasia esculenta*); Zero wastage orphan food crop for food and nutritional security”. *South African Journal of Botany* [En línea], 2021, 145(1), pp. 1-13. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.08.014>

AGNIHOTRI, S.; et al. “Sustainability Issues in Bioplastics”. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* [En línea], 2020, 5(2), pp. 249-273. [Consulta: 14 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10610-1>

AHMED, J. “Use of Graphene/Graphene Oxide in Food Packaging Materials: Thermomechanical, Structural and Barrier Properties”. *Reference Module in Food Science* [En línea], 2019, 1(1) , pp. 1-22. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22499-2>

AI, Y.; & JANE, J. “Starch: Structure, Property, and Determination. Iowa State University”, *Ames* [En línea], 2016, (USA) 1(1), pp. 165-174. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00657-7>

ALREFAI, R.; et al. “A Review on the Production of Thermo-Plastic Starch From the Wastes of Starchy Fruits and Vegetables”. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* [En línea], 2020, 3(1), pp. 1-16. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00054-7>

AQUACULTURE. Proximate analysis: Ash. *Analytical Techniques in Aquaculture Research* [En línea]. 2018. [Consulta: 14 diciembre 2022]. Disponible en: <https://aquaculture.ugent.be/Education/coursematerial/online%20courses/ATA/analysis/ash.htm>

ASHTER, S. A. *Types of Biodegradable Polymers.* Ashter, *Introduction to Bioplastics Engineering* [En línea]. S.l.: Plastics Design Librar, 2016. pp. 81-151. [Consulta: 16 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39396-6.00005-1>

BINELLI, A.; et al. “A realistic approach for the assessment of plastic contamination and its ecotoxicological consequences: A case study in the metropolitan city of Milan (N. Italy)”. *Science of the Total Environment*, vol. 806, n° 1 (2021), pp. 150574.

CALABOKIS, M. Metamorfosis del almidón: gelatinización y retrogradación. *Exiliopanadero* [En línea]. 27 de noviembre de 2020 [Consulta: 10 diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.exiliopanadero.com/post/metamorfosis-del-almidón-gelatinización-y-retrogradación>

CASALLAS, F.; et al. “Synthesis of graphene oxide from graphite by ball milling”. *Diamond & Related Materials* [En línea], 2020, 109(1), pp. 108064. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108064>

CASTILLO-MARTÍNEZ, A. “Equipo para el proceso de hidrólisis enzimática del almidón de papa a escala piloto”. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología*, vol. 2, n°5 (2017), pp. 29–33.

DAI, L.; et al. “Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles. *Food Chemistry*, vol. 174, n°1 (2015), pp. 82-88.

EVONIUK, J. Ash in Flour. *BAKER Academy* [En línea]. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://bakerpedia.com/processes/ash-in-flour/>

FAO. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: ONU Para la Agricultura y la Alimentación. 2007.

GALINDO-URIBE, C.; et al. “Revisión sobre la síntesis de grafeno por exfoliación en fase líquida: mecanismos, factores y técnicas.” *Uniciencia* [En línea]. 2022, 36(1), pp. 1–14 [Consulta: 11 diciembre 2022]. ISSN 2215-3470. Disponible en: [doi:10.15359/ru.36-1.35](https://doi.org/10.15359/ru.36-1.35)

GARCÍA, J. C.; et al. “Extracción de almidón de malanga blanca, una alternativa socioambiental para la producción de bases poliméricas biodegradables”. *Conciencia Digital* [En línea], 2020, 3(3), pp. 6-26. [Consulta: 16 diciembre 2022]. Disponible en: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1263/3075>

GERONIMO, K. Caracterización estructural y morfológica del almidón de paterna para evaluar su potencial alimenticio. Trabajo de grado. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 2022.

GUNARATNE, A.; & CORKE, H. “Starch: Analysis of Quality”. *Encyclopedia of Food and Health* [En línea], 2016, 2(3), pp. 198-207. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00092-9>

HOU, Y.; et al. “High-quality preparation of graphene oxide via the Hummers' method: understanding the roles of the intercalator, oxidant, and graphite particle size”. *Ceramics International* [En línea]. 2020, **46**(2), pp. 2392–2402 [Consulta: 13 diciembre 2022]. ISSN 0272-8842. Disponible en: doi:[10.1016/j.ceramint.2019.09.231](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.231)

IBERTEST. Dispositivos de ensayo para probetas normalizadas. Ibertest [En línea]. 2022 [Consulta: 13 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.ibertest.es/products/dispositivos-de-ensayo-para-probetas-normalizadas/>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análisis de alimentos.* (Cuarta ed.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 2008.

INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE. ISI 17-1e. Determinación de la viscosidad del almidón por Brookfield. *Laboratory Methods* [En línea]. 2002. [Consulta: 14 diciembre 2022]. Disponible en: <http://www.starch.dk/ISI/methods/17brookfield.htm>

JIMENEZ-ROSADO, A. “Evaluation of different strengthening methods in the mechanical and functional properties of soy protein-based bioplastics”. *Journal of Cleaner Production*, vol. 1, n°1, 2020. pp.121517.

KAITH, B.; et al. “A new horizon for structural modifications and comprehensive applications of *Colocasia esculenta* (L.) Schott”. *Materialstoday:proceedings*, vol.53, n°1, pp. 269-272.

KUMORO, A.; et al. “Estimation of aqueous solubility of starch from various botanical sources using Flory Huggins theory approach”. *Chemical Engineering Communications* [En línea], 2019, 1(1), pp. 1-12. [Consulta: 14 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1691539>

LIU, Q.; et al. “Root and Tuber Crops”. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* [En línea], 2014, 5(2), pp. 46-61. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: [10.1016/b978-0-444-52512-3.00151-0](https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00151-0)

LÓPEZ-POLÍN, G. *Propiedades mecánicas de membrana de grafeno: consecuencias de la inducción controlada de defectos* [En línea]. España: Universidad Autónoma de Madrid. 2016. [Consulta: 14 diciembre 2022]. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/674900/lopez_polin_pena_guillermo.pdf?sequence=1

LUMDUBWONG, N. “Applications of Starch-Based Films in Food Packaging”. *Reference Module in Food Science* [En línea], 2019, 1(1), pp. 1-13. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22481-5>

MAGNI, S.; et al. “Can COVID-19 pandemic change plastic contamination? The Case study of seven watercourses in the metropolitan city of Milan (N. Italy)”. *Science of the Total Environment* [En línea], 2022, 831(2), p. 154931. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154923>

ORELLANA, J. Grado de polimerización. Material Sapiens [Blog]. 2018. [Consulta: 12 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://materialsapiens.wordpress.com/2018/12/03/grado-de-polimerizacion-que-es-definicion/>

RAO, S.; et al. “Investigation on synthesis, structure and degradability of starch based Bioplastics”. *Materials Today: Proceedings* [En línea], 2022, 49(2), pp 257-261. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.917>

RIERA, M. A.; & PALMA, R. “Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador”. *Avances en Química* [En línea], 2018, 13(3), pp. 68-78. Obtenido de Universidad de los Andes: [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279005/html/>

SHANMATHY, M.; et al. “Development of biodegradable bioplastic films from Taro starch reinforced with bentonite”. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* [En línea], 2021, 2(25), pp. 100173. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100173>

SINGLA, D.; et al. “Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review”. *International Journal of Biological Macromolecules* [En línea], 2020,

163(1), pp. 1283-1290. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>

SUJONO, E.; et al. “Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and Characterization”. *Heliyon* [En línea], 2020, 6(1), pp. 04568. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04568>

THARANATHAN, R. “Biodegradable films and composite coatings: past, present and future”. *Trends in Food Science & Technology* [En línea], 2003, 14(1), pp. 71-78. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)

TIRADO, D.; et al. “Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias”. *Información Tecnológica* [En línea], 2015, 26(1), pp. 3-10. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: [0.4067/S0718-07642015000200002](https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200002)

TUBON, G. *Physical and Chemical treatments to produce graphene and their related applications*. Rende: University of Calabria. 2015.

VASSEGHIAN, Y.; et al. “Graphene derivatives in bioplastic: A comprehensive review of properties and future perspectives”. *Chemosphere* [En línea], 2022, 286(3), pp. 131892. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131892>

VILJAKAINEN, V.; & HUG, L. “New approaches for the characterization of plastic-associated microbial communities and the discovery of plastic-degrading microorganisms and enzymes”. *Computational and Structural Biotechnology Journal* [En línea], 2021, 19(1), pp. 6191-6200. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: [10.1016/j.csbj.2021.11.023](https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.11.023)

WHITENER, K.; & SHEEHAN, P. “Graphene synthesis”. *Diamond and Related Materials* [en línea]. 2014, 46, pp. 25–34 [consultado el 27 de marzo de 2023]. ISSN 0925-9635. Disponible en: [doi:10.1016/j.diamond.2014.04.006](https://doi.org/10.1016/j.diamond.2014.04.006)

ZAMUDIO FLORES, P.; et al. Soluciones formadoras de película a base de almidón oxidado de avena mezcladas con quitosano: Caracterización reológica y propiedades mecánicas de sus películas. *Revista Iberoamericana de polímeros*, vol. 13, n°6 (2013), pp. 293-304.

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA Y ALMIDÓN

b)



c)



NOTAS:

- a) Recepción materia prima
- b) Lavado materia prima
- c) Pesaje de la materia prima

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA
QUIMICA**

ELABORADO POR: Christopher Sánchez

Caracterización materia prima y almidón

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	14/08/2022

ANEXO B: TRITURADO DE LA MATERIA PRIMA

a)



b)



c)



NOTAS: a) Sedimentación del almidón b) Almidón seco c) Almidón triturado	CATEGORIA DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	DEL	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Christopher Sánchez	Caracterización materia prima y almidón		
				LÁMIN A	ESCALA	FECHA
				1	1:1	14/08/2022

ANEXO C: PRUEBAS DE SOLUBILIDAD

a)



b)



c)



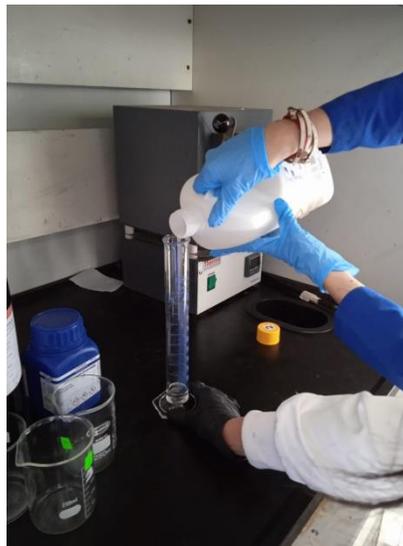
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Christopher Sánchez	Caracterización materia prima y almidón		
a) Caracterización del almidón b) Pesaje del almidón c) Pruebas de solubilidad y pH	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	14/08/2022

ANEXO D: SÍNTESIS DEL PRODUCTO

a)



b)



c)



NOTAS:

- a) Equipo para síntesis del GO
- b) Preparación de reactivos
- c) Síntesis del óxido de grafito

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA
QUIMICA**

ELABORADO POR: Christopher Sánchez

Obtención óxido de grafeno

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	14/08/2022

ANEXO E: CENTRIFUGADO DEL PRODUCTO

a)



b)



c)



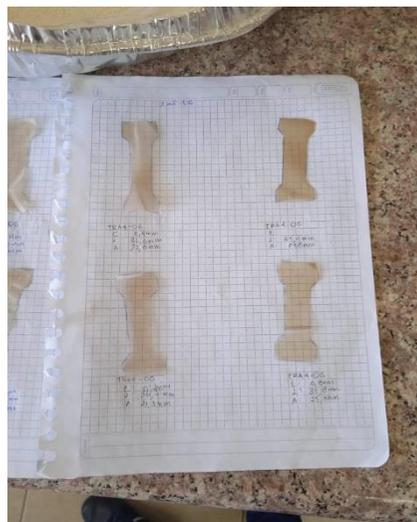
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Christopher Sánchez	Obtención óxido de grafeno			
a) Centrifugación del óxido b) Lavados del óxido de grafito c) óxido de grafito sólido	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA	
			1	1:1	14/08/2022	

ANEXO F: CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

a)



b)



c)



NOTAS:

- a) GO sólido
- b) Probetas de bioplásticos para pruebas
- c) Caracterización bioplásticos

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA
QUIMICA**

ELABORADO POR: Christopher Sánchez

Aplicación de GO a los bioplásticos

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	14/08/2022



epoch

**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: 10 / 05 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Christopher Patricio Sánchez Vallejo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo