



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**INCIDENCIA DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE PLÁSTICO
BIODEGRADABLE DE OCA (*Oxalis tuberosa*)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: SAMANTHA LISETH VILLA OTAVALO

DIRECTOR: Ing. HANNIBAL LOREZO BRITO MOINA PhD.

Riobamba-Ecuador

2022

© 2022, **Samantha Liseth Villa Otavalo**

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

Yo, SAMANTHA LISETH VILLA OTAVALO, 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 autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de marzo de 2022.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line extending to the right.

Samantha Liseth Villa Otavalo

C.I. 0705630077

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 DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE OCA (*Oxalis tuberosa*)**, realizado por la señorita: **SAMANTHA LISETH VILLA OTAVALO**, 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. Fabian Ernesto Arias Arias, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		22-05-31
Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		22-05-31
Ing. Gabriela Vivina Tubon Usca, PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		22-05-31

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de integración curricular a Dios, por permitirme llegar hasta aquí y cuidar de mí en cada momento de esta larga trayectoria, a mis padres Gina Leonor Otavalo Saraguro y Segundo Manuel Villa Contento por sostener mi mano desde el momento en que di mi primer paso, por depositar su amor, comprensión y entera confianza en mí, por ser mi inspiración, por su constante apoyo para alcanzar uno de mis principales objetivos por eso y más mi triunfo es de ustedes. A mis hermanos Angie y Matías por brindarme sus palabras de apoyo cuando el camino se tornaba difícil, a mi abuelita Rita Saraguro por orar por mí en cada momento y a mi enamorado por inspirarme a culminar este eslabón de mi vida profesional.

Samantha

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento en primer lugar a Dios que me ha guiado a lo largo de mi vida, a mis padres por sus enseñanzas diarias y brindarme los valores y enseñanzas que me han convertido en la persona que soy hoy.

A mis hermanos Angie y Matías por brindarme su amor y comprensión durante toda nuestra vida. A mi pareja, Fabián por compartir conmigo sus conocimientos que aportaron al éxito de mi vida universitaria.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a sus autoridades, docentes y servidores quienes han aportado en mi desarrollo personal y profesional, a la carrera de ingeniería química por abrirme las puertas de la ciencia y lo extraordinario de la investigación.

En especial mi eterna gratitud al Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moína. PhD. Director del trabajo de integración curricular y a la Ing. Gabriela Viviana Tubon Usca. PhD. Miembro del trabajo de integración curricular por su calidad humana y compromiso con la academia e investigación.

A los técnicos docentes del laboratorio de Investigación Dr. Mauricio Álvarez y Químico Jefferson Bautista por su apoyo en el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo.

A los amigos que el transcurso de la vida universidad me brindó, por sus palabras de aliento y el cariño brindado.

Samantha

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURA.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. General.....	4
1.3.2. Específicos.....	4
1.4. Antecedentes de la Investigación.....	4
1.5. Marco Conceptual o Glosario.....	5
1.5.1. Productos Agrícolas del Ecuador.....	5
1.5.2. Tubérculos.....	5
1.5.3. Oca.....	5
1.5.3.1. Definición.....	5
1.5.3.2. Morfología de la oca.....	6
1.5.3.3. Taxonomía.....	8
1.5.3.4. Composición química.....	8
1.5.4. Almidón.....	10
1.5.4.1. Definición.....	10
1.5.4.2. Propiedades del almidón.....	10
1.5.4.3. Componentes.....	10
1.5.4.4. Propiedades funcionales.....	12
1.6. Plásticos.....	12
1.6.1. Sintéticos.....	12
1.6.2. Naturales.....	13

1.6.2.1.	<i>Definición</i>	13
1.6.2.2.	<i>Propiedades el bioplástico derivado de almidón</i>	13
1.7.	Grafito	13
1.8.	Grafeno	13
1.8.1.	<i>Propiedades del grafeno</i>	14
1.9.	Óxido de grafeno	14
1.10.	Oxidación química de grafito para obtener óxido de grafeno (GO)	14

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	16
2.1.	Planteamiento de las hipótesis	16
2.1.1.	<i>Hipótesis general</i>	16
2.2.	Identificación de Variables	16
2.3.	Operacionalización de Variables	18
2.4.	Matriz de Consistencia	21
2.5.	Tipo y diseño de Investigación	23
2.5.2.	<i>Diseño de Investigación</i>	23
2.6.	Unidad de Análisis	23
2.7.	Población de Estudio	23
2.8.	Tamaño de Muestra	23
2.9.	Selección de la Muestra	24
2.10.	Técnicas de Recolección de Datos	25

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1.	Datos obtenidos	40
3.1.1.	<i>Almidón</i>	40
3.1.1.1.	<i>Análisis físico de la materia prima</i>	40
3.1.1.2.	<i>Obtención de almidón por vía húmeda</i>	41
3.1.2.	<i>Óxido de Grafeno</i>	42
3.1.2.1.	<i>Óxido de Grafeno</i>	42
3.1.3.	<i>Láminas de plástico biodegradable</i>	43
3.1.3.1.	<i>Formulación de blanco</i>	43
3.1.3.2.	<i>Formulación con óxido de grafeno</i>	43

3.1.3.3.	<i>Ensayo de permeabilidad de vapor de agua</i>	44
3.1.3.4.	<i>Ensayo de espesor</i>	45
3.1.3.5.	<i>Ensayo de humedad</i>	47
3.1.3.6.	<i>Ensayo de solubilidad</i>	48
3.1.3.7.	<i>Biodegradabilidad de las láminas</i>	49
3.2.	Cálculos	50
3.2.1.	Almidón	50
3.2.1.1.	<i>Rendimiento</i>	50
3.2.2.	Óxido de grafeno	50
3.2.2.1.	<i>Rendimiento de la síntesis</i>	50
3.2.3.	Láminas de plástico biodegradable	50
3.2.3.1.	<i>Permeabilidad de vapor de agua</i>	50
3.2.3.2.	<i>Solubilidad</i>	51
3.2.3.3.	<i>Biodegradabilidad</i>	51
3.2.3.4.	<i>Análisis de Varianza (ANOVA)</i>	51
3.3.	Resultados	53
3.3.1.	Almidón	53
3.3.1.1.	<i>Ensayo físico de la materia prima</i>	53
3.3.1.2.	<i>Rendimiento de la obtención de almidón</i>	53
3.3.1.3.	<i>Caracterización de la materia prima y almidón</i>	54
3.3.2.	Óxido de grafeno	55
3.3.2.1.	<i>Rendimiento de la síntesis</i>	55
3.3.2.2.	<i>Espectroscopía Visible-Ultravioleta (UV-Vis)</i>	55
3.3.2.3.	<i>Espectroscopia FTIR</i>	56
3.3.3.	Láminas de plástico biodegradable	57
3.3.3.1.	<i>Ensayo de humedad</i>	57
3.3.3.2.	<i>Ensayo de permeabilidad</i>	57
3.3.3.3.	<i>Ensayo de solubilidad</i>	58
3.3.3.4.	<i>Biodegradabilidad en agua</i>	59
3.3.3.5.	<i>Biodegradabilidad en suelo</i>	59
3.3.3.6.	<i>Biodegradabilidad en ambiente</i>	60
3.3.3.7.	<i>Pruebas mecánicas</i>	61
3.3.3.8.	<i>Análisis de la varianza (ANOVA)</i>	62
3.3.3.9.	<i>Valoración económica</i>	65
3.3.3.10.	<i>Porcentajes de mejoramiento</i>	66
3.4.	Prueba de hipótesis	66

3.4.1.	<i>Hipótesis 1</i>	66
3.4.2.	<i>Hipótesis 2</i>	66
3.4.3.	<i>Hipótesis 3</i>	67
3.4.4.	<i>Hipótesis 4</i>	68
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES		70
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Taxonomía de la oca (<i>Oxalis Tuberosa</i>).....	8
Tabla 2-1:	Composición química de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	9
Tabla 1-2:	Identificación de variables.....	16
Tabla 2-2:	Identificación de variables.....	18
Tabla 3-2:	Identificación de variables.....	21
Tabla 4-2:	Formulación de las muestras	23
Tabla 5-2:	Obtención de almidón por vía húmeda	25
Tabla 6-2:	Técnicas de ensayos físicos químicos para el almidón de oca	26
Tabla 7-2:	Método de síntesis de óxido de grafeno	30
Tabla 1-3:	Datos obtenidos del análisis físico de la materia prima.....	40
Tabla 2-3:	Datos de la obtención de almidón.....	41
Tabla 3-3:	Datos de la obtención de óxido de grafeno.....	42
Tabla 4-3:	Formulación de blanco	43
Tabla 5-3:	Formulación de las láminas de plástico biodegradable	43
Tabla 6-3:	Permeabilidad de vapor de agua.....	44
Tabla 7-3:	Espesor de las láminas.....	45
Tabla 8-3:	Humedad de las láminas	47
Tabla 9-3:	Solubilidad de las muestras	48
Tabla 10-3:	Degradabilidad en suelo	49
Tabla 11-3:	Degradabilidad en ambiente	49
Tabla 12 -3:	Degradabilidad en agua	49
Tabla 13-3:	ANOVA de desplazamiento máximo	51
Tabla 14-3:	Test de tukey.....	52
Tabla 15-3:	Ensayo de prueba física de la materia prima	53
Tabla 16-3:	Rendimiento de la obtención de almidón	53
Tabla 17-3:	Caracterización de la materia prima y almidón	54
Tabla 18-3:	Rendimiento	55
Tabla 19-3:	Ensayo de humedad.....	57
Tabla 20-3:	Ensayo de permeabilidad.....	57
Tabla 21-3:	Ensayo de humedad.....	58
Tabla 22-3:	Resultados de biodegradabilidad en agua.....	59
Tabla 23-3:	Biodegradabilidad en suelo	59
Tabla 24-3:	Biodegradabilidad en ambiente	60

Tabla 25-3:	Pruebas mecánicas.....	61
Tabla 26-3:	ANOVA de módulo elástico	62
Tabla 27-3:	ANOVA de carga máxima	62
Tabla 28-3:	ANOVA de desplazamiento máximo.....	63
Tabla 29-3:	ANOVA de esfuerzo máximo	63
Tabla 30-3:	ANOVA de deformación máxima.....	64
Tabla 31-3:	ANOVA de rotura carga	64
Tabla 32-3:	Precio unitario de almidón.....	65
Tabla 33-3:	Precio unitario de óxido de grafeno.....	65
Tabla 34-3:	Precio de cada lámina de plástico.....	65
Tabla 35-3:	Porcentaje de mejoramiento de las láminas	66

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1-1: Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	6
Figura 2-1: Hojas de oca.....	6
Figura 3-1: Flores de oca	7
Figura 4-1: Flores de oca	7
Figura 5-1: Flores de oca	8
Figura 6-1: Estructura de la molécula de amilosa.....	11
Figura 7-1: Estructura de la molécula de amilopectina	11
Figura 1-3: Muestreo de oca	40
Figura 2-3: UV-Vis del óxido de grafeno.....	55
Figura 3-3: a) FITR de grafito b) FTIR del oxido del grafeno	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de flujo de obtención de almidón de oca	26
Gráfico: 2-2:	Diagrama de flujo de síntesis del óxido de grafeno	33
Gráfico 3-2:	Obtención de láminas de plástico	35
Gráfico 1-3:	Pruebas mecánicas.....	67
Gráfico 2-3:	Tiempo de degradación	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE OCA

ANEXO B: ENSAYO DE LA MATERIA PRIMA Y ALMÍDON

ANEXO C: SÍNTESIS DE ÓXIDO DE GRAFENO

ANEXO D: FORMULACIÓN DE LÁMINAS DE PLASTICO

ANEXO E: ENSAYOS DE LÁMINAS DE PLÁSTICO

ANEXO F: DEGRADACIÓN DE LAMINAS

ANEXO G: ENSAYO DE PROPIEDADES MECÁNICAS

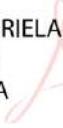
ANEXO H: ENSAYOS EXTERNOS

SUMMARY

The aim of this research was to verify the impact of graphene oxide on the mechanical properties of biodegradable plastic sheets from Oca (*Oxalis tuberosa*). Firstly, starch was obtained through the wet process with the best yield and characterized according to the standards established by the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), which made it possible to identify its suitability for the production of biodegradable plastic sheets. On the other hand, the synthesis of graphene oxide was carried out with a yield of 84.93%. A totally randomized factorial design was used to identify the optimum volume of addition of the compound in the formulation of the biodegradable plastic sheet, where an evaluation of a total of six treatments was obtained. To evaluate the product obtained, physical and mechanical tests were carried out, where the thickness was less than or equal to 0.12 mm and the maximum displacement was 10.36 cm for treatment six. Finally, the tests were carried out in three different environments, where the maximum degradation in soil was 31.85%, in a time of 15 days, which is within the established limit, in water 8.32% and in environment 12.45%, therefore, when studying the results, the improvement in the mechanical properties of the biodegradable plastic sheets is verified. It is recommended to analyze the application of different additives to improve the mechanical properties according to their use.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <Oca (*Oxalis tuberosa*)>, <BIOPLASTIC>, <GRAPHENE OXIDE>, <MECHANICAL TESTS>.

ANA GABRIELA
REINOSO
ESPINOSA



Firmado digitalmente
por ANA GABRIELA
REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.07.06
12:26:10 -05'00'

INTRODUCCIÓN

La producción de plásticos sintéticos en la actualidad representa un porcentaje considerable de contaminación a nivel mundial, por lo que diversas naciones han tomado como medida de prevención la producción de plásticos de origen orgánico, las cuales satisfagan las necesidades de los consumidores, pero con tiempo de degradación sumamente corto, solución es ecológicamente viable.

Para este tipo de plásticos los biopolímeros son la mejor opción, ya que con el tratamiento adecuado pueden llegar a tener características similares a los plásticos de origen sintético o derivados de petróleo, sin embargo, una de las desventajas y la más crítica es el precio de producción, ya que, en comparación con un plástico sintético, los biopolímeros son mucho más costosos, rangos de aplicación más limitados en dependencia de la naturaleza de la materia prima. Dado a la extensa y diversa producción agrícola que existe en el Ecuador, las investigaciones se han orientado a la producción de láminas de plástico biodegradable a partir de almidón de ciertos tubérculos ya que poseen características que los hacen óptimos para la elaboración de plásticos, puesto esto en consideración se analiza la opción de otorgarle mayor resistencia, flexibilidad, elasticidad, entre otros aspectos, con la complementación de la formulación con óxido de grafeno, sustancia la cual por sus características es capaz de mejorar las propiedades mecánicas de las láminas.

La oca es un producto originario de la cordillera de los Andes, este posee un alto porcentaje de almidón en su composición química, y un porcentaje elevado de amilosa dentro de su estructura los cual en conjunto con el óxido de grafeno dan paso a una lámina de plástico biodegradable con propiedades diferentes en función de la cantidad de óxido de grafeno añadida, lo cual da paso a escoger el tratamiento que satisfaga las necesidades del consumidor.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Identificación del problema

En la actualidad la preocupación del ser humano por el medio ambiente ha crecido a la par del desarrollo económico, dado a que los niveles de contaminación debido a los altos niveles de consumo que van en aumento producen la disminución en proporciones considerables de las condiciones factibles de vida para los seres vivos del planeta.

La reducción de los niveles de contaminación producido por los altos índices de uso de plástico es un gran desafío ambiental, debido a que esto afecta a la flora y fauna de los ecosistemas, según la asociación Plastics Europe, en 2019 la producción de plásticos a nivel mundial llegó a 368 millones de toneladas, de los cuales según los datos del INEC (2019), los ecuatorianos produjeron 531.461 toneladas el 11.43% correspondía a plástico, de los que se puede desglosar como fundas, recipientes de espuma flex, entre otros. Los mismos que son plásticos de un solo uso y con un nivel de reciclaje mínimo. Por lo que los plásticos biodegradables se consideran como alternativas prometedoras para erradicar el uso de plásticos convencionales (Ruiz, et al., 2021, pp.1-15)

Es preciso recalcar que debido a la pandemia ocasionada por el COVID-19 la producción de plástico ha ido en aumento considerable por lo que a este consumo masivo se lo podría tildar como la otra pandemia, la pandemia del plástico debido al alto uso de mascarillas, guantes, batas y otros equipos que se utilizan para la protección individual, ocasionando que los centros de reciclaje hayan colapsado, por lo tanto, la contaminación será mucho mayor debido a la incineración y desecho a océanos y ríos lo que causa impacto ambiental en flora y fauna. Es por eso que la implementación y mejora de las condiciones de los plásticos biodegradables para satisfacción es imperativa, ayudando así a reducir la contaminación de manera efectiva (Flury y Narayan, 2021. pp.1-17).

1.2. Justificación de la investigación

Los niveles de contaminación global son preocupantes es por esto que la industria de materiales poliméricos se está desarrollando a pasos agigantados, debido a que juega un papel vital en la vida humana. Es por esto que el público aboga por el uso de productos alternativos degradables para erradicar progresivamente la acumulación de plásticos, tomando en cuenta que los plásticos biodegradables son destruidos por agentes naturales tales como la biomasa, agua, dióxido de carbono, los cuales en primera instancia se adhieren a los plásticos biodegradables.

La industria de materiales se ve en la necesidad de mejorar la calidad de las películas biodegradables para que satisfagan las necesidades de quienes lo usan es por esto que se prevé el uso de un plastificante en las láminas de plástico biodegradable obtenido a través de almidón debido a que este polímero es uno de los más usados por su abundante presencia en ciertos tipos de materias primas, así como también considerar que la adaptabilidad del almidón con otros polímeros podría mejorar la calidad del plástico biodegradable tanto en elasticidad como en resistencia (Velázquez, 2016, p.1).

Las características más importantes que se debe tomar en cuenta en las películas de bioplástico son la solubilidad en agua, transición vítrea, comportamiento mecánico, biodegradación, entre otras lo que se debe considerar con análisis precisos, tales que, cumplan con la funcionalidad que brindan los plásticos derivados del petróleo las cuales deben satisfacer las necesidades de quienes los usan, en especial a los bioplásticos de áreas de envase, artículos de un solo uso, y coberturas agrícolas por lo que el mejoramiento a través del óxido de grafeno es fundamental para comprobar la mejora de las características mecánicas para que así este tipo de láminas puedan satisfacer las necesidades y exigencias del público que los usa (Flury y Narayan, 2021, pp.1-17).

La comparación de las propiedades mecánicas de los plásticos biodegradables y los plásticos convencionales se basan en la facilidad con la que se rompen los plásticos biodegradables, es por esto que se propone una estrategia para mejorar las propiedades con una adición de rellenos en una mezcla de plásticos obtenidos a partir de biopolímeros, para potenciar las propiedades mecánicas de los bioplásticos uno de los aditivos más utilizados es el óxido de grafeno (GO), el cual es una forma oxidada del grafito que entrelazado con grupos que contiene oxígeno como hidroxilo, carboxilo y epoxi forma el óxido de grafeno. Basado en la naturaleza degradable del almidón y las ventajas teóricas del óxido de grafeno, se estima que el compuesto de estos materiales puede producir bioplásticos con mejores características (Amri., et al, 2018, p.1).

Las propiedades del óxido de grafeno permiten que este sea usado como un relleno en los bioplásticos ayudando así a las mejoras necesarias en las propiedades del bioplástico, ya que los compuestos derivados a base de grafito poseen un área de superficie alta, biocompatibilidad, fácil disolución, entre otras características. Los biopolímeros que poseen óxido de grafeno en su estructura presentan propiedades mecánicas y de barrera a los gases superiores además el alto contenido de oxígeno en el óxido de grafeno permite una amplia variedad de modificación/funcionalización química. (Vasseghian et al., 2022,pp. 131-892).

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. General

Verificar la incidencia que tiene el óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de Oca (*Oxalis tuberosa*).

1.3.2. Específicos

- Determinar físico, química y microbiológicamente la materia prima y almidón.
- Comprobar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable.
- Identificar el tiempo de degradación de las láminas de plástico obtenidas.
- Cuantificar el costo de producción del plástico biodegradable obtenido a partir de oca.

1.4. Antecedentes de la Investigación

La acumulación de residuos de plásticos en el medio ambiente, denominada contaminación blanca es una preocupación social cada vez mayor, debido a que el lapso de tiempo que un polímero sintético posee de vida útil es corto, sin embargo el tiempo de degradación es un agente extremadamente largo, es por esta razón que se están explorando soluciones para disminuir el nivel de contaminación producido por este tipo de desechos, algunas de las opciones viables que se estudian son el reciclaje, compostaje, y recuperación de energía mediante incineración y como avance de la ciencia una forma alternativa de ayudar a reducir la contaminación asociada a los desechos plásticos es el desarrollo de polímeros biodegradables que tienen como materia prima un polímero biodegradable como lo es el almidón. (Bher et al., 2019, pp.187-197).

El uso de bioplásticos que tienen como base el almidón se los puede considerar como un hito importante en la prevención de la contaminación ambiental, según (Gurler, et al., 2021, pp. 266-271) la atención hacia el almidón se da debido a su bajo costo, biodegradabilidad y uso mundial, sin embargo posee deficiencias, entre las más significativas se encuentran su naturaleza hidrófila, y su estructura frágil lo cual restringe su uso en algunas aplicaciones como envase de alimentos. En la actualidad al menos 40000 toneladas de almidón por año se convierten en plásticos a nivel mundial.

1.5. Marco Conceptual o Glosario

1.5.1. Productos Agrícolas del Ecuador

En el Ecuador existe un alto índice de cultivos en los cuales se utiliza los recursos primarios de las tierras de nuestro territorio, dándose diversos tipos de cultivos como: arroz, banano, caña de azúcar, tubérculos, entre otros productos a los cuales su comercialización no involucra una transformación que le añada un valor extra, representan aproximadamente el 72% de la superficie agrícola cultivada en el país (Guallazaca y Hernandez, 2020, pp.10-17).

1.5.2. Tubérculos

Se denominan tubérculos a aquellas plantas cuya raíz se expande y acumulan los nutrientes de reserva de la planta, estas plantas poseen un alto rendimiento de azúcar (Global Nature Found, 2018, p.1).

1.5.3. Oca

1.5.3.1. Definición

La oca (*Oxalis tuberosa*) es un tubérculo cultivado en la región Andina desde la antigüedad, es considerado un alimento básico en las algunas zonas de América del Sur es utilizado en una variedad de platos como sopas, cocino o crudo. Posee una forma cilíndrica o cornete con una longitud aproximadamente de 5 a 8 cm, y un diámetro de 2 a 4 cm. La piel es en su mayor parte lisa con escamas que cubren protuberancias, posee como componente principal el almidón con 60% del peso seco aproximadamente (Zhu y Cui, 2019, p.7).



Figura 1-1: Oca (*Oxalis tuberosa*)

Realizado por: Zhu y Cui, 2019.

1.5.3.2. Morfología de la oca

La oca es una hierba perenne la cual es de crecimiento compacto que generalmente alcanza hasta 1 metro de altura.

- Hojas

Las hojas de la oca son trifoliadas, alternas o palmaticompuestas, pubescentes, tienen peciolo largos y con canales que nacen de ribosomas con hojuelas craneadas, poseen folíolos los cuales son obcordiformes que usualmente miden entre 1 y 4 cm de largo. La coloración de la hoja es verde por el haz y verde claro en envés (Orbegoso, 1957, p.1).



Figura 2-1: Hojas de oca

Realizado por: Zhu y Cui, 2019.

- Flores

Las flores de oca poseen cinco pétalos y sépalos los cuales le dan su característica belleza, estas poseen matices de varias tonalidades en el envés y revés. La corola posee pétalos flabeliformes los cuales están unidos a la base, que usualmente son de matices amarillos y naranjas. Los estambres característicos de esta especie están presentes en dos verticilos pentámeros, cada uno de diferentes longitudes, un ovario Penta carpelar con estilos pentáfilos (Orbegoso, 1957, p.1).



Figura 3-1: Flores de oca

Realizado por: Zhu y Cui, 2019.

- Tallo

Se puede decir que estas presentan similares a las Basellaceas en cuanto a que son suculentas, se suelen alargar entre 30 y 100 cm desde la base del suelo (Orbegoso, 1957, p.1).



Figura 4-1: Flores de oca

Realizado por: Zhu y Cui, 2019.

- Raíz

La raíz, en este caso el tubérculo puede ser ovoide, claviformes y cilíndricos, el color del tubérculo depende del valor nutricional que posee este tipo de tubérculos (Orbegoso, 1957, p.1).



Figura 5-1: Flores de oca

Realizado por: Zhu y Cui, 2019.

1.5.3.3. Taxonomía

La taxonomía correspondiente a la Oca (*Oxalis tuberosa*) se puede describir de la siguiente manera:

Tabla 1-1: Taxonomía de la oca (*Oxalis Tuberosa*)

N°	Taxonomía	
1	Reino	Plantae
2	División	Mognoliophyta
3	Clase	Magnoliopsida
4	Orden	Geraniales
5	Familia	Oxalidaceae
6	Género	Oxalis
7	Especie	“Oxalis tuberosa”

Fuente: Zhu y Cui, 2019.

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

1.5.3.4. Composición química

En dependencia de la calidad de los nutrientes que un alimento posee se evalúa su composición química, ya sea con el fin de evaluar las bases de las de las valoraciones rutinarias, así como

también la factibilidad de usar el alimento en cuestión en diferentes tipos de desarrollos técnicos o de ingeniería (Cajamarca, 2010, p.1).

Tabla 2-1: Composición química de la oca (*Oxalis tuberosa*)

Nº	PARÁMETRO	UNIDAD	OCA (<i>OXALIS TUBEROSA</i>)
1	Humedad	%	77.73
2	Cenizas	%	2.39
3	Proteínas	%	4.60
4	Fibra	%	2.16
5	Extracto Etéreo	%	1.66
6	Carbohidrato total	%	88.19
7	Ca	%	0.012
8	P	%	0.14
9	Mg	%	0.0065
10	Na	%	0.018
11	K	%	1.30
12	Cu	Ppm	2.25
13	Fe	Ppm	48.85
14	Mn	Ppm	5.35
15	Zn	ppm	5.95
16	I	ppm	3.65
17	Almidón	%	42.17
18	Azúcar total	%	9.68
19	Azúcares reductores	%	7.62
20	Energía	Kcal/100g	399.0
21	Vitamina C	mg/100 g mf	34.53
22	Ácido Oxálico	/100 g mf	82.93

Fuente: Cajamarca, 2010.

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

1.5.4. Almidón

1.5.4.1. Definición

El almidón es un polímero de glucosa el cual constituye una fuente energética natural privilegiada para la alimentación tanto de los animales como del hombre dado a que proporciona el 70 -80% de las calorías consumidas, después de la celulosa es considerada como una de las principales sustancias glucídica sintetizada por las vegetaciones a partir de energía solar, poseen la capacidad de almacenar D-glucosa dado a que los gránulos de almidón ejercen baja presión osmótica baja (Espín, Villacrés y Brito, 2003, p.1).

1.5.4.2. Propiedades del almidón

El almidón es un carbohidrato que se encuentra en estructuras discretas llamados gránulos, con presencia de amilopectina y amilosa, las cuales se representan en estado amorfo, no cristalino mientras que la amilopectina forma regiones cristalinas, se forman en regiones concéntricas de estructura amorfa y cristalinas alterna, la concentración de amilosa y amilopectina varía en dependencia de la fuente de almidón (Khan, 2010, p1).

1.5.4.3. Componentes

El almidón se fracciona en dos tipos de α -glucano: Amilosa y amilopectina. En dependencia del origen botánico de la especie que se trata es que se tiene el porcentaje de amilosa y amilopectina respectivamente, sin embargo, se puede establecer que los almidones que son considerados “cerosos” contienen menos de 15% de amilosa, los almidones “normales” entre el 20 y 35% y los almidones “altos” aproximadamente el 40% de amilosa, mientras que la amilopectina se la considera como una diferencia del cien por ciento de la cantidad de amilosa presente. En algunas ocasiones se pueden presentar contaminantes como triglicéridos, glicolípidos, fosfolípidos y ácidos grasos libres derivados de la membrana de amiloplasto y fuentes distintas de almidón (Tester, et al., 2004, p.151-165).

- **Amilosa**

La amilosa es una sustancia lineal relativamente larga α - glucano la cual contiene alrededor de 99% (1 \rightarrow 4)- α y (1 \rightarrow 6)- α enlaces y difiere en tamaño y estructura según el origen botánico. Tiene un peso molecular de aproximadamente $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$, un grado de polimerización

(DP) por número (DP_n) de 324 a 4920 con alrededor de 9 a 20 puntos de ramificación equivalentes de 3 a 11 cadenas por molécula, en donde cada cadena contiene de 200 a 700 residuos de glucosa equivalente a un peso molecular de 32400- 113400 (Tester, et al., 2004, p.151-165).

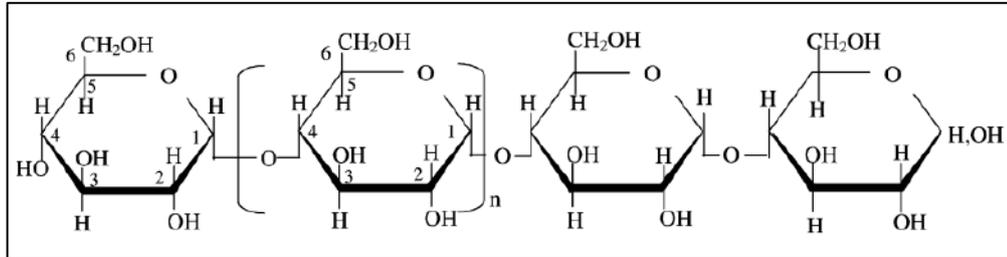


Figura 6-1: Estructura de la molécula de amilosa

Realizado por: Tester, et al., 2004.

- Amilopectina

Se puede establecer que la amilopectina es una molécula más grande que la amilosa con un peso molecular aproximado de $1 \times 10^7 - 1 \times 10^9$ y estructura fuertemente ramificada construida a partir del 95% (1 \rightarrow 4)- α y 5% (1 \rightarrow 6)- α enlaces. El DP_n suele estar dentro del rango 9600-15,900, valores que al igual que la amilosa, el tamaño molecular, forma, estructura y polidispersidad de la molécula varí según la especie y el origen botánico de la misma, las cadenas unitarias de amilopectina son relativamente cortas en comparación con las moléculas de amilosa con un perfil de distribución amplio, por lo general, poseen entre 18 y 25 unidades de largo en promedio, aunque el rango se puede ampliar (19-31) cuando se incluyen a los almidones con alto contenido de amilosa. Las cadenas se pueden clasificar en dependencia de su longitud, y en consecuencia con la posición dentro de los gránulos de almidón (Tester, et al., 2004, p.151-165).

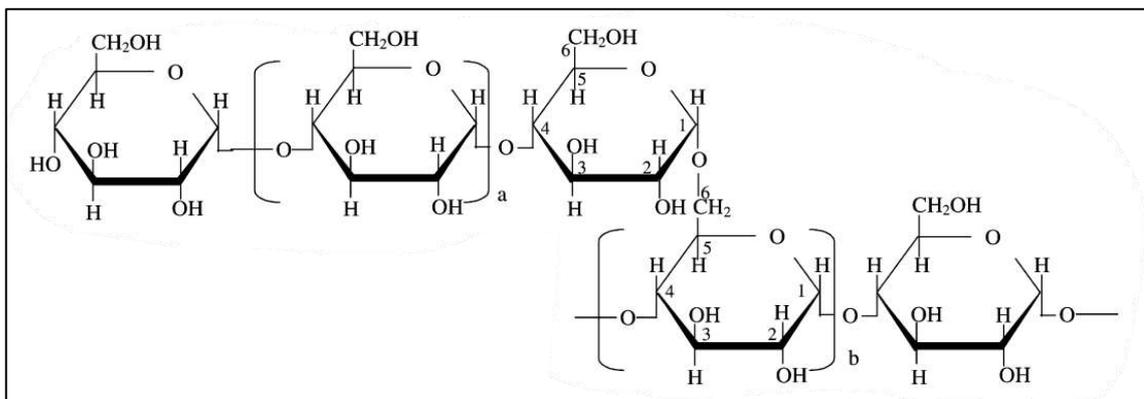


Figura 7-1: Estructura de la molécula de amilopectina

Realizado por: Tester, et al., 2004.

1.5.4.4. Propiedades funcionales

El almidón posee diferentes propiedades funcionales propias de cada materia prima.

- Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización es un parámetro fundamental del rendimiento en la aplicación del almidón, la suspensión cuando se calienta y alcanza una temperatura crítica, las cadenas de las moléculas se extenderán y se separarán, como resultado se tiene que la viscosidad de la emulsión aumentará y aparece una estructura de gel tridimensional, en donde las cadenas de almidón se hidrolizan mediante enzimas digestiva (Dai, et al., 2019, pp.419-424).

- Solubilidad

Se considera a la solubilidad como la capacidad de reacción del almidón con agua y disolverse en la misma, esta nos indica el grado de asociación que existe entre los dos polímeros presentes en el almidón, amilosa y amilopectina (Granados et al., 2014, pp.1692-3561)

- Aplicaciones

La mayoría de los almidones son utilizados en la preparación de alimentos, agentes estabilizantes, gelificantes, fuentes de carbono en procesos de fermentación y elaboración de láminas de plástico biodegradable.

1.6. Plásticos

1.6.1. Sintéticos

Son materiales poliméricos que se componen de moléculas químicas de tamaños considerables en un compuesto denominado monómero, en dependencia del método de polimerización y del monómero es que los plásticos poseen estructuras químicas que permiten clasificar a los plásticos en: termoplásticos y termoestables (Meneces, et al., 2007, pp.2-4).

1.6.2. Naturales

1.6.2.1. Definición

Se considera como bioplásticos a los materiales biodegradables que provienen de fuentes renovables tales como biomasa y se pueden utilizar para reducir el problema de los residuos plásticos que asfixian al planeta, que abarcan diferentes usos y aplicaciones como construcción de casas, piezas de automóviles, envases alimentarios, o cualquier tipo de insumos siempre y cuando estos cumplan con las propiedades necesarias para cumplir con las exigencias del consumidor, es decir satisfacer sus necesidades(Charro, 2015, p.1).

1.6.2.2. Propiedades el bioplástico derivado de almidón

El almidón es considerado como el producto agrícola más importante después de la celulosa, con una producción de 57×10^6 ton/año y su bajo costo de producción permite el uso en aplicaciones diferentes a las alimentarias. El almidón se puede procesar en un plástico con el simple proceso de aplicar temperatura en presencia de agua, el almidón sufre una serie de cambios, gelatinización, pegado y retrogradación. Los dos primeros dependen de la temperatura, las cuales son modificaciones irreversibles permitiendo que los gránulos de almidón se solubilizan y puedan cumplir propiedades de textura, viscosidad y retención de humedad (Charro, 2015, p.1).

1.7. Grafito

El grafito es la forma más estable del carbono, posee una estructura plana en capas, en donde en cada capa los átomos de carbono están dispuestos en una red hexagonal con una separación de 0.142 nm y la distancia entre planos es de 0.335 nm, es un conductor eléctrico debido a su hibridación sp^2 , que tiene deslocalización de los electrones del enlace π por encima y por debajo de los planos de los átomos de carbono (Geim, 2009, pp.1530-1534).

1.8. Grafeno

La palabra grafeno, proviene de la combinación de dos palabras, “grafito y “eno” terminación la cual hace referencia a los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Es un alótropo del carbono (C) formado por una capa de carbono con hibridación sp^2 , con un átomo de espesor que al unirse a otra forman una estructura hexagonal de dos dimensiones compacta densamente en una red de cristalina la cual adopta una forma similar a un panal de abeja (Lunavictoria, 2020, p.1). La

longitud de enlace carbono-carbono en el grafeno es de aproximadamente 0.142 nm, y estas hojas se apilan con un espaciado interplanar de 0.335 nm (Tubon, 2015, p.1).

1.8.1. Propiedades del grafeno

- ✓ Área de superficie específica de $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
- ✓ Alótopo del carbono
- ✓ Es cristalino, fuerte y mucho más resistente que el acero, presenta un comportamiento elástico no lineal debido a su mono capa que es ultradelgada

1.9. Óxido de grafeno

Se considera al óxido de grafeno como la forma oxidada y exfoliada del grafito, este material es principalmente constituido por carbono con singulares propiedades mecánicas. Posee grupos funcionales que poseen oxígeno.

- Es Hidrofílico
- Extensa área superficial
- Es un excelente compuesto para la aplicación de compósitos
- Es un óptimo aislante eléctrico

1.10. Oxidación química de grafito para obtener óxido de grafeno (GO)

La producción de óxido de grafeno mediante tratamiento oxidativo del grafito se puede realizar usando 3 tipos diferentes de métodos. La oxidación del grafeno mediante una reacción se basa en introducir grupos funcionales oxigenados en la estructura del grafito en polvo, usando como agente oxidante el permanganato de potasio (Chen et al., 2013, pp.225-229).

Este compuesto posee una estructura similar a la del grafeno, posee una red hexagonal de carbono, pero la hoja GO generalmente esta distorsionada donde se une a los grupos de oxígeno, GO es estudiado como uno de los grandes materiales para la producción a gran escala de grafeno y viceversa (Luo, 2017, p.1).

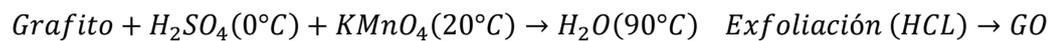
Atómicamente el grafeno es una hoja gruesa la cual está compuesta de hasta unas pocas micras, contiene dominios de átomos de carbono que poseen con hibridación sp^2 los cuales están dispuestos en una estructura de panal junto con la presencia de átomos de carbono con hibridación sp^3 los cuales contiene propiedades oxigenada. La presencia de funciones propias del oxígeno

hace que la materia sea higroscópico e hidrófilo. Es una molécula que se sintetiza a partir de un precursor grafitico mediante una oxidación fuerte (Kumar et al., 2016, pp.24-25).

1.11. Método para la obtención de óxido de grafeno (GO)

Para la obtención de óxido de grafeno se han estudiado varios métodos, sin embargo, el mas utilizado es el método de Hummers con modificaciones debido a que el producto obtenido en este caso óxido de grafeno posee mayor distancia entre cada capa y relación atómica de C-O más alta en comparación con los otros métodos planteados. Este método se basa en hacer reaccionar el grafito con ácido sulfúrico concentrado, permanganato de potasio, y peróxido de hidrógeno todo esto debe agregarse paulatinamente controlando las condiciones en este caso la temperatura (Hummers y Offeman, 1957, pp.13-39).

La reacción química del método es:



CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Planteamiento de las hipótesis

2.1.1. *Hipótesis general*

Mediante la adición de óxido de grafeno mejorarán las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de Oca (*Oxalis tuberosa*).

2.1.2. *Hipótesis específicas*

- Con la caracterización físico, químico y microbiológico de la materia prima y el almidón se conocerá que estas son de buena calidad para la utilización
- Los ensayos mecánicos comprobarán el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable.
- Mediante la exposición a factores medio ambientales como agua y suelo determinará el tiempo de degradación de las láminas biodegradables de plástico obtenidas.
- Con la aplicación de valoración económico se cuantificará el costo de producción del plástico biodegradable obtenido a partir de oca.

2.2. Identificación de Variables

Tabla 1-2: Identificación de variables

N°	Etapa de proceso	VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
1	Extracción de almidón	Cantidad de la materia prima Volumen de agua destilada Temperatura	Cantidad de almidón obtenido Tiempo de sedimentación del almidón Tiempo de secado
2	Síntesis del óxido de grafeno	Cantidad y concentración de los reactivos	Temperatura
3	Elaboración de láminas de plástico biodegradable	Cantidad y concentración de aditivos Tiempo de secado	Humedad Espesor Permeabilidad

			Solubilidad Propiedades de tracción Biodegradabilidad
--	--	--	-------------------------------------------------------------

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

2.3. Operacionalización de Variables

Tabla 2-2: Identificación de variables

N°	Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Categorización	Indicadores	Instrumento de medición	Unidad de medida
1	Materia prima Oca	Independiente	Porción significativa del material a utilizar la cual es una magnitud medible	-	Peso	Balanza analítica	g
2	Agua destilada	Independiente	Cantidad de agua utilizada en el proceso	-	Volumen	Probeta	ml
3	Temperatura	Independiente, dependiente	Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor o frío	Secado del almidón	Calor	Termómetro	°C
				De reacción			
				De elaboración del bioplástico			
4	Almidón obtenido	Dependientes	Porción significativa del material obtenido y que es una magnitud medible	-	Peso	Balanza analítica	g
5	Solubilidad	Dependiente	Capacidad de una sustancia de disolverse usando a otra sustancia llamada disolvente	-	Peso	Balanza analítica	g
6	Humedad	Dependiente		De la materia prima	Porcentaje		%

			Cantidad de agua contenida en un cuerpo	Del almidón obtenido		Balanza de humedad	
7	Cantidad de Reactivos	Independiente	Fracción del material que se va a utilizar para la obtención de un producto, la cual es posible medir	Grafito	Peso	Balanza analítica	g
				Permanganato de potasio			
				Ácido sulfúrico	Volumen	Pipeta	ml
				Ácido clorhídrico			
				Peróxido de hidrógeno			
Agua Destilada		Vaso de precipitación					
8	Aditivos	Independiente	Fracción del material utilizado al cual es posible medir	Almidón	Peso	Balanza analítica	g
				Glicerina	Volumen	Pipeta	ml
				Óxido de grafeno			
9	Espesor	Dependiente	Grosor que representa un material	-	Milímetros	Medidor de espesor	mm
10	Permeabilidad	Dependiente	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese	-	WVTR	Balanza analítica	g
11	Propiedades de tracción	Dependiente	Se miden las propiedades mecánicas que ofrece un material cuando está sometido a dos fuerzas opuestas	-	Esfuerzo máximo	Equipo de tracción	mPa

12	Biodegradabilidad	Dependiente	Capacidad de las sustancias y los materiales orgánicos de descomponerse en sustancias más simples mediante los microorganismos.	Suelo	Área	Balanza analítica	g
				Agua			
				Ambiente			

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

2.4. Matriz de Consistencia

Tabla 3-2: Identificación de variables

ASPECTOS GENERALES				
Problema General	Objetivo General		Hipótesis General	
En la producción de láminas de bioplástico biodegradable se evidencia un alto índice de fallas en cuanto a las propiedades mecánicas que hagan que este tipo de biopolímeros resistan.	Verificar la incidencia que tiene el óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).		Mediante la adición de óxido de grafeno mejorarán las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis específicas	Variables De Las Hipótesis Específicas	Técnicas De Recolección
El almidón obtenido presenta propiedades físico, química y microbiológicas que se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la norma	Determinar físico, química y microbiológica la materia prima y almidón.	Con la caracterización físico, químico y microbiológico de la materia prima y el almidón se conocerá que estas son de buena calidad para la utilización	pH Cenizas Solubilidad Temperatura de gelatinización Humedad Viscosidad Proteínas Fibras Levaduras y mohos Amilosa Amilopectina	Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuya, (FAO, 2007)

<p>El uso de óxido de grafeno, ¿mejoró las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable?</p>	<p>Comprobar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable.</p>	<p>Los ensayos mecánicos comprobarán el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable</p>	<p>Módulo de elasticidad Carga de fluencia Esfuerzo de fluencia Carga máxima Esfuerzo máximo Porcentaje de elongación</p>	<p>NTE INEN 2635:012 Métodos físicos</p>
<p>¿Al agregar óxido de grafeno a las láminas de bioplástico estas son degradables?</p>	<p>Identificar el tiempo de degradación de las láminas de plástico obtenidas.</p>	<p>Mediante la exposición a factores medio ambientales como agua y suelo determinará el tiempo de degradación de las láminas biodegradables de plástico obtenidas.</p>	<p>Tiempo</p>	<p>Método físico</p>
<p>La producción de este tipo de láminas de bioplástico, ¿Es viable económicamente?</p>	<p>Cuantificar el costo de producción del plástico biodegradable obtenido a partir de oca.</p>	<p>Con la aplicación de valoración económica se cuantificará el costo de producción del plástico biodegradable obtenido a partir de oca.</p>	<p>Precio de la materia prima</p>	<p>Área de la lámina</p>

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

2.5. Tipo y diseño de Investigación

2.5.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo exploratorio, debido a que busca determinar la composición adecuada de óxido de grafeno para la obtención de películas de bioplástico a partir de almidón de oca, así como también identificar las características del bioplástico obtenido evaluando su mejoramiento a través de las características.

2.5.2. Diseño de Investigación

Esta investigación describe un diseño experimental totalmente al azar que va a permitir identificar la incidencia positiva o negativa en las láminas de bioplástico obtenidas.

2.6. Unidad de Análisis

Láminas de bioplástico obtenidas a partir de almidón de oca las cuales se estudiarán física y mecánicamente para analizar la incidencia del óxido de grafeno añadido.

2.7. Población de Estudio

La población de estudio corresponde a 6 kg de oca fresca que se utilizará para la obtención de almidón, misma materia prima que será receptada de diferentes mercados mayoristas de la ciudad de Riobamba.

2.8. Tamaño de Muestra

Para la aplicación experimental de la presente investigación se realizará 6 tratamientos de 4 repeticiones cada una teniendo un total de 24 muestras.

Tabla 4-2: Formulación de las muestras

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: Villa, Samantha, 2022.

2.9. Selección de la Muestra

La muestra seleccionada es un muestreo no probabilístico, dado que 650 g de almidón a partir de pulpa de oca fue obtenido mediante el proceso de extracción por decantación natural para la correspondiente caracterización.

2.10. Técnicas de Recolección de Datos

Tabla 5-2: Obtención de almidón por vía húmeda

Método	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de ensayo
Vía húmeda	<ul style="list-style-type: none"> - Licuadora - Cuchillo - Balanza - Cronómetro - Colador plástico - Espátula - Mortero de porcelana y pistilo - Tela filtrante - Tamices con malla 150 y 300 μ - Fundas ziploc - Estufa con recirculación de aire 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Oca 	<ul style="list-style-type: none"> - Lavar, pelar y trocear los tubérculos - Licuar 500 g de materia prima junto con 1 litro de agua destilada durante 1 min - Filtrar para separar el almidón de la celulosa usando un colador y se desecha los residuos que se generan. - Dejar reposar por 6 horas para que el almidón se sedimente - Retirar el exceso de agua tomando en cuenta que no se mezcle el almidón con la suspensión de agua - Secar en una estufa con recirculación de aire a 60°C durante 6 h. - Triturar la muestra usando mortero y pistilo para reducir a una granulometría de 300 μ - Se almacena en recipientes herméticos y se conserva a temperatura ambiente 	(Pastuizaca, 2020)

Fuente: (Pastuizaca, 2020)

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

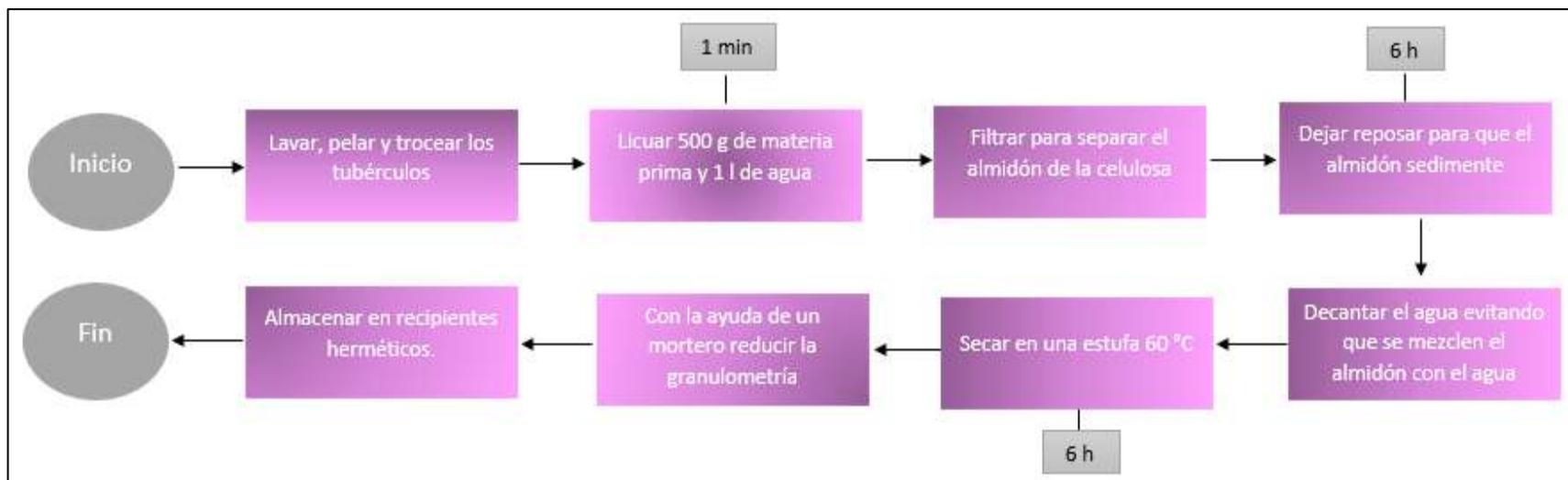


Gráfico 1-2: Diagrama de flujo de obtención de almidón de oca

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 6-2: Técnicas de ensayos físicos químicos para el almidón de oca

N°	Análisis	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Fórmula de cálculo	Método de ensayo
1	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Termo balanza - Vidrio reloj - Espátula 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón - Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 5 g de muestra - Colocar en el platillo de la termo balanza - En la termo balanza utilizar el programa 3 	Medida directa	(Aristizábal y Sánchez, 2007)

				<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar la tapa de la termo balanza y esperar a que marque que finalizo 		
2	Ceniza	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Mufla - Espátula - Desecador - Crisoles - Guantes térmicos 	<p>Almidón Agua destilada</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tarar los crisoles a utilizar durante 3 h - Colocar una muestra de 1 g de almidón en cada crisol - Poner en la mufla los crisoles a 550 °C - Enfriar los crisoles que contienen las cenizas hasta llegar a un peso constante - Pesar los crisoles con contenido de ceniza y calcular la cantidad de cenizas 	<p>Cenizas(%) $= \frac{\text{Peso de cenizas (g)}}{\text{peso muestra (g)}}$ <i>Ecuación 1: Porcentaje de cenizas</i></p>	(Aristizábal y Sánchez, 2007)
3	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Centrífuga - Estufa con recirculación de aire - Tubos falcón - Vasos de precipitación - Pipeta volumétrica 	<p>Almidón</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Secar los tubos falcón a 60°C y pesar - En los tubos colocar 1.25 g de almidón y añadir 30 ml de agua precalentada a 60°C - Colocar la solución en baño maría a 60° C, durante 30 min, transcurridos 10 min agitar 	<p>Índice de solubilidad $= \frac{\text{Peso solubles (g)} \times}{\text{Peso muestra (g)}}$ <i>Ecuación 2 Índice de la solubilidad de agua</i> Donde:</p>	(Aristizábal y Sánchez, 2007)

		<ul style="list-style-type: none"> - Pera 		<ul style="list-style-type: none"> - Centrifugar a temperatura ambiente y 300 rpm por 30 min - Decantar el sobrenadante y medir el volumen - Pesar el gel que resulta de centrifugar - Colocar 10 ml de sobrenadante y poner en un vaso de precipitación que este pesado - Secar la solución del vaso de precipitación a 70 °C durante la noche - Pesar el vaso de precipitación con los insolubles 	<p>V = Volumen de sobrenadante</p> <p>bs = base seca</p>	
4	pH	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Sonicador - pH-metro normalizado a 25°C - Centrífuga - Tubos Falcón - Vasos de precipitación - Espátula 	Almidón	<ul style="list-style-type: none"> - Sonicar 200 ml de agua destilada para eliminar el CO₂ durante 15 min - Mezclar 20 g de almidón en base seca con 100 ml de agua destilada - Centrifugar durante 5 min 	Medida directa	(Aristizábal y Sánchez, 2007)

		- Vidrio reloj		- Medir el pH del sobrenadante		
5	Viscosidad	- Balanza analítica - Viscosímetro - Aguja para viscosímetro L3 - Reverbero - Baño de agua maría - Vaso de precipitación - Varilla de agitación	Almidón	- Colocar 25 g de almidón en un vaso de precipitación y disolver con 500 ml de agua destilada - Colocar el vaso de precipitación en el reverbero hasta ebullición con agitación constante - Llevar el gel hasta 25 °C - Medir la viscosidad a 50 rpm	Medida directa	(Aristizábal y Sánchez, 2007)
6	Temperatura de gelatinización	- Balanza analítica - Baño María - Pinzas - Termómetro - Vaso de precipitación	Almidón	- Colocar 10 g de almidón en un vaso de precipitación y disolver con 100 ml de agua destilada. - Colocar el baño maría a 85 °C - Tomar 50 ml de la suspensión y someter a baño maría - Agitar hasta que la solución se torne pastosa - Leer la temperatura de gelatinización	Medida directa	(Aristizábal y Sánchez, 2007)

Fuente: Aristizábal y Sánchez, 2007

Realizado por: Villa Otavalo, Samantha, 2022.

Tabla 7-2: Método de síntesis de óxido de grafeno

Método	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de ensayo
Hummers Modificado	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Agitador magnético - Magneto - Matraces de aforo de 100 ml - Pera de succión - Vidrio reloj - Espátula - Campana de extracción de gases - Vasos de precipitación - Soporte universal - Recipiente de aluminio 	<ul style="list-style-type: none"> - Grafito - Ácido sulfúrico - Permanganato de potasio - Agua destilada - Peróxido de hidrógeno - Ácido clorhídrico 	<ul style="list-style-type: none"> - Se colocó 3 g de polvo de grafito y seguido 70 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) con agitación vigorosa - Se añade lentamente en un periodo de 45 minutos 9 g de permanganato de potasio (KMnO₄), controlando que la temperatura del reactor no supere los 20°C bajo vigorosa agitación. - Se transfiere a baño de aceite para que la temperatura de la solución llegue a 50°C por 30 min manteniendo la agitación vigorosa. - Con la ayuda de una bureta que permita goteo leve se añade 150 ml de agua destilada en un lapso de tiempo de 20 min, en donde la temperatura del reactor no debe superar los 90°C durante 20 minutos. 	(Tubon, 2015)

	<ul style="list-style-type: none"> - Matraz de fondo redondo con 3 bocas de 1000 ml - Termómetro digital - Condensador de bolas - Corchos - Bureta - Pipeta - Pinzas de soporte universal - Pyrex - Reverbero - Tubos falcón de 50 ml - Centrífuga - Baño María con Sonicador - Estufa con recirculación de aire 		<ul style="list-style-type: none"> - Se agrega 500 ml de agua destilada con agitación vigorosa - Se coloca 15 ml de peróxido de hidrógeno gota a gota, en este instante ocurre cambio de coloración de café obscuro a amarillo - La solución obtenida se centrifuga a 3000 rpm durante 10 min con solución de ácido clorhídrico 1:1 - Se decanta la solución con la que se lavó con ácido clorhídrico - A continuación, se realizan de 5 a 7 lavadas de la solución hasta obtener un pH neutro. - A continuación, se coloca el precipitado en un pyrex para ingresar el mismo a una estufa con recirculación de aire a 80°C durante 24 horas - Con el material recuperado se disuelve en relación 1:1, es decir por cada gramo de materia recuperada se le disuelve en 1 litro de agua destilada. 	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

			<ul style="list-style-type: none">- Se sónica la solución por 1 hora para que sea homogénea- Se centrifuga durante 30 min la solución sonicada a 1000 rpm en donde se tiene dos fases en las que el sobrenadante constituye el óxido de grafeno y el precipitado el óxido de grafito que no fue exfoliado.	
--	--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: Tubon, 2015

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

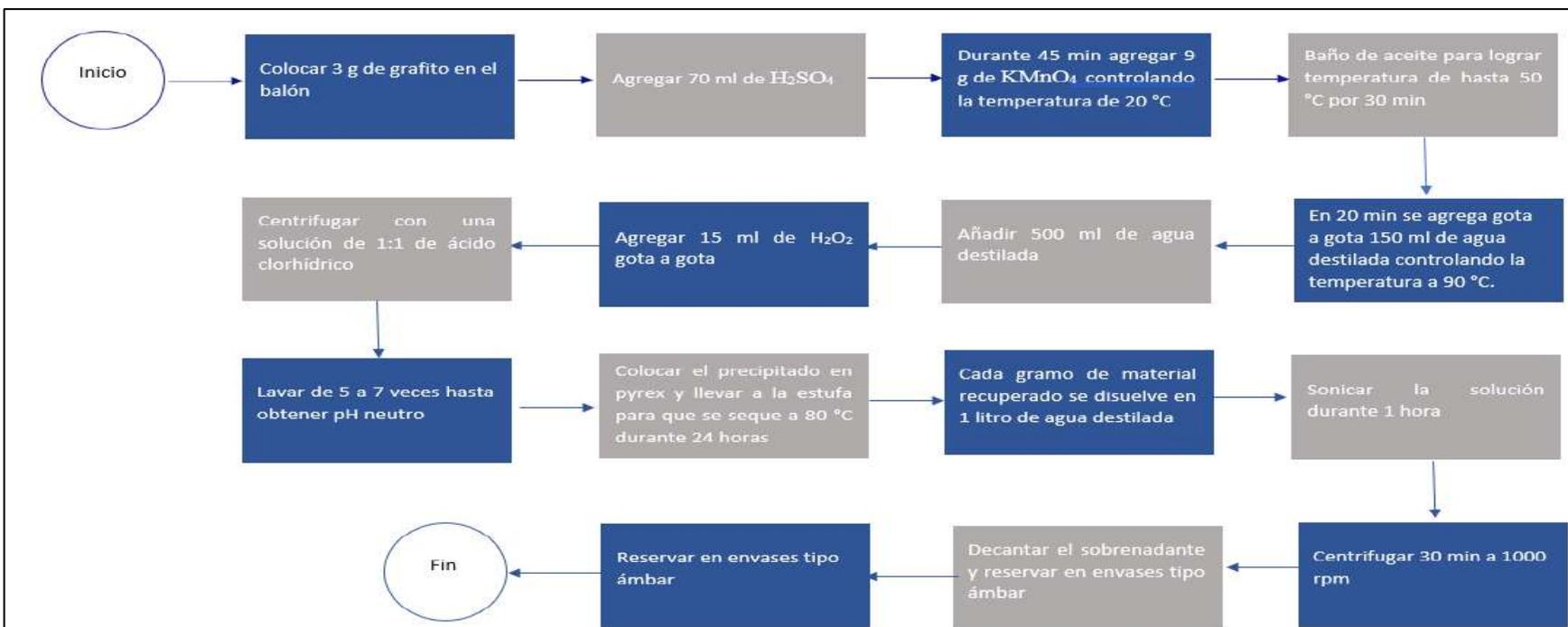


Gráfico: 2-2: Diagrama de flujo de síntesis del óxido de grafeno

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 8-2: Técnica de obtención de láminas de plástico biodegradable

Método	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de ensayo

<p>Obtención de láminas de bioplástico</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cajas Petri - pH-Metro - Baño María - Estufa con recirculación de aire - Reverbero - Vasos de precipitación de 250 ml - Varilla de agitación 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Almidón de oca - Glicerina - Óxido de grafeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Preparar una solución de agua destilada – almidón - Llevar a baño maría la solución hasta que este alcance la temperatura de gelatinización. - Añadir la glicerina que actúa como plastificante y el óxido de grafeno o conservante manteniendo agitación constante para homogenizar la mezcla - Dejar enfriar - Verter la mezcla en cajas Petri - Secar en la estufa a una temperatura aproximada de 62 °C por un tiempo determinado 	<p>(Charro, 2015)</p>
--------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------

Fuente: (Charro, 2015)

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

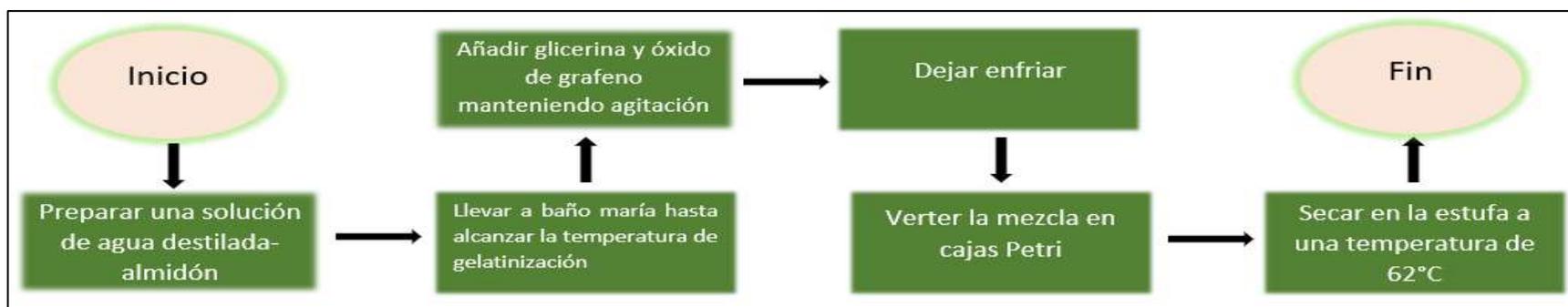


Gráfico 3-2: Obtención de láminas de plástico

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 9-2: Técnica de obtención de láminas de plástico biodegradable

No	Análisis	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Fórmula de cálculo	Método de ensayo
1	Humedad	Balanza analítica Estufa con recirculación de aire Crisoles	Láminas de plástico biodegradables de almidón de oca	Tomar el peso inicial de las muestras Ingresar a la estufa con recirculación de aire a 105 °C durante 24 h (Reservar) Se realizan dos ensayos por cada muestra	$\% \text{ humedad} = \frac{P_1 - P_2}{P_2}$ Donde: P_1 = <i>Peso inicial de la película</i> P_2 = <i>Peso final de la película</i>	FAO

2	Solubilidad (%)	Balanza analítica Vaso de precipitación Cajas petri Papel filtro Shaker	Agua destilada Láminas de plástico biodegradable	Las películas reservadas del ensayo de la humedad, se colocan en un vaso de precipitación de 100 ml con 80 ml de agua destilada Agitar a 100 rpm durante 1 hora Filtrar y proceder a colocar en la estufa de recirculación a 40 °C hasta que no queden residuos de agua. Eleva la temperatura a 105°C para tener un peso constante	$\% \text{ solubilidad} = \frac{P_1 - P_2}{P_2}$ <p>Donde: P_1 = <i>Peso inicial de la película</i> P_2 = <i>Peso final de la película</i></p>	FAO
3	Permeabilidad vapor de agua	Tubos de ensayo Cinta de embalaje Gradilla Desecador Calibrador	Agua destilada Sílica gel Solución de NaCl	Activar la sílica gel durante 24 h a 200°C Llenar tubos de ensayo dejando un espacio libre para mezclar la	$WVP = \frac{(P_2 - P_1) \times e}{t \times pv \times (\phi_2 - \phi_1)}$	Método desecante

				<p>sílica gel, durante cada pesado.</p> <p>Las láminas de bioplástico se cortan de 2.5 cm²</p> <p>Colocar en la boca de cada tubo de ensayo sellándolos herméticamente</p> <p>Colocar en desecador el cual debe estar en un ambiente de una HR 60 – 65% que se obtiene al colocar una solución saturada de NaCl a 26 – 29 °C.</p> <p>Realizar el pesaje de las muestras hasta obtener peso constante</p>		
4	Tracción	Probetas para prueba de tracción	Láminas de plástico	Preparar el equipo para realizar las pruebas	Medida directa	NTE INEN 2635:012 Métodos de ensayo para

		Máquina universal para pruebas de tracción		Ajustar los extremos de las probetas de prueba en el equipo tomando en cuenta las marcas de orientación. Estirar la probeta, encerar el equipo y empezar el ensayo Registrar los valores obtenidos		las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas.
5	Espesor	Láminas de bioplástico Calibrador digital		Tomar en cuenta que se debe medir con exactitud.	Medida directa	
6	Biodegradabilidad	Software Image J Láminas de bioplástico Cajas Petri	Tierra Agua	Cortar muestras de 3 x 3 cm de las láminas de bioplástico Colocar las 3 muestras de cada tratamiento en los tres medios: Suelo, agua y ambiente. Analizar las muestras en el programa cada 5 días	Medida directa en el programa Image J	Método de disminución de área

				Registrar los valores obtenidos		
--	--	--	--	------------------------------------	--	--

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Datos obtenidos

3.1.1. Almidón

3.1.1.1. Análisis físico de la materia prima

Para obtener los datos de peso, longitud y espesor se toma una muestra de 20 ejemplares de oca y se toma sus medidas los datos obtenidos se muestran en la Tabla 1-3



Figura 1-3: Muestreo de oca

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 1-3: Datos obtenidos del análisis físico de la materia prima

No	PRODUCTO	PESO (g)	LONGITUD (mm)	ESPESOR (mm)
1	OCA	68,12	112,60	24,60
2		54,25	120,50	31,30
3		57,53	82,30	29,20
4		43,89	76,90	29,30
5		34,57	82,00	25,00
		42,76	65,60	33,80
7		35,15	64,80	24,10
8		26,25	69,10	28,40
9		41,05	64,20	29,30
10		25,09	87,70	26,50

11		32,36	90,00	25,80
12		29,00	106,90	27,40
13		34,28	82,50	30,30
14		35,20	79,40	29,00
15		34,69	78,80	26,60
16		32,42	74,10	31,00
17		23,00	65,60	23,00
18		10,98	42,20	26,90
19		14,67	53,80	20,20
20		19,19	47,50	26,90

Fuente: Brito,H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH,2021

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.1.2. Obtención de almidón por vía húmeda

Tabla 2-3: Datos de la obtención de almidón

No	Tratamiento	Vol. de agua (ml)	Repetición	Cantidad de oca (g)	Cantidad total (g)	Cantidad de almidón (g)	Cantidad total
1	TP2O	1000	R1	350	8987	43,258	1200,644
2			R2	295		43,158	
3			R3	298		40,589	
4			R4	301		39,158	
5			R5	299		40,5	
6			R6	295		40,5	
7			R7	296		37,255	
8			R8	297		42,547	
9			R9	295		41,148	
10			R10	297		42,154	
11			R11	298		43,967	
12			R12	299		42,589	
13			R13	300		41,578	
14			R14	295		42,914	
15			R15	296		39,124	
16			R16	298		42,568	

17		R17	294	20,056
18		R18	299	42,889
19		R19	300	40,548
20		R20	296	42,589
21		R21	298	41,587
22		R22	300	39,985
23		R23	301	20,015
24		R24	300	41,589
25		R25	298	40,05
26		R26	297	41,648
27		R27	298	40,969
28		R28	300	40,18
29		R29	299	42,568
30		R30	298	42,964

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.2. Óxido de Grafeno

3.1.2.1. Óxido de Grafeno

Tabla 3-3: Datos de la obtención de óxido de grafeno

SÍNTESIS DE ÓXIDO DE GRAFENO		
No.	REACTIVO	CANTIDAD (g)
1	Grafito	3
2	Óxido de grafito	3,405
3	Óxido de grafeno	2,548

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.3. Láminas de plástico biodegradable

3.1.3.1. Formulación de blanco

Tabla 4-3: Formulación de blanco

N°	Variables		Contantes			
	Almidón (g)	Glicerina (ml)	Ácido acético (ml)	Agua (ml)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
1	15	10	5	100	24	50

Fuente: Pastuzaca, 2020.

Realizado por: Villa Otavalo, Samantha, 2022.

3.1.3.2. Formulación con óxido de grafeno

Tabla 5-3: Formulación de las láminas de plástico biodegradable

N°	Tratamiento	Constantes					Variables
		Almidón (g)	Glicerina (ml)	Agua (ml)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Óxido de grafeno (ml)
1	TBO1	15	10	100	19	36	0,5
2	TBO2						1
3	TBO3						1,5
4	TBO4						2
5	TBO5						2,5
6	TBO6						3

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.3.3. Ensayo de permeabilidad de vapor de agua

Tabla 6-3: Permeabilidad de vapor de agua

N°	Tratamiento	Repetición	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)	Peso 5 (g)	Peso 6 (g)	Peso 7 (g)	Peso 8 (g)
1	TBO1	R1	29,913	29,915	29,918	29,918	29,921	29,922	29,953	29,966
2		R2	29,913	29,926	29,929	29,909	29,909	29,910	29,911	29,966
3		R3	29,270	29,279	29,288	29,297	29,307	29,316	29,317	29,325
4		R4	29,857	29,590	29,590	29,620	29,650	29,680	29,710	29,910
5	TBO2	R1	29,783	29,786	29,788	29,789	29,790	29,792	29,793	29,831
6		R2	29,683	29,684	29,691	29,691	29,691	29,691	29,691	29,730
7		R3	29,786	29,786	29,794	29,794	29,794	29,794	29,794	29,833
8		R4	29,590	29,591	29,598	29,598	29,598	29,598	29,598	29,637
9	TBO3	R1	30,040	30,043	30,045	30,045	30,046	30,048	30,049	30,082
10		R2	30,040	30,042	30,048	30,048	30,048	30,048	30,048	30,082
11		R3	30,039	30,042	30,049	30,049	30,049	30,049	30,049	30,081
12		R4	30,030	30,045	30,049	30,049	30,049	30,049	30,049	30,072
13	TBO4	R1	29,653	29,656	29,658	29,658	29,660	29,661	29,662	29,699
14		R2	29,653	29,623	29,636	29,636	29,636	29,636	29,636	29,698
15		R3	29,699	29,699	29,706	29,706	29,706	29,706	29,706	29,742
16		R4	29,646	29,648	29,655	29,655	29,655	29,655	29,655	29,692
17	TBO5	R1	30,752	30,754	30,757	30,758	30,759	30,760	30,761	30,801
18		R2	30,752	30,754	30,762	30,762	30,762	30,762	30,762	30,801
19		R3	30,752	30,755	30,763	30,763	30,763	30,763	30,763	30,805

20		R4	30,750	30,751	30,758	30,758	30,758	30,758	30,758	30,798
21	TBO6	R1	29,678	29,681	29,684	29,685	29,687	29,688	29,689	29,734
22		R2	29,679	29,680	29,689	29,689	29,689	29,689	29,689	29,736
23		R3	29,549	29,550	29,558	29,558	29,558	29,558	29,558	29,601
24		R4	29,880	29,881	29,889	29,889	29,889	29,889	29,889	29,933

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.3.4. Ensayo de espesor

Tabla 7-3: Espesor de las láminas

N°	Tratamientos	Repetición	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)	M4 (mm)	M5 (mm)	M6 (mm)
1	TBO1	R1	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
2		R2	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100
3		R3	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
4		R4	0,200	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100
5	TBO2	R1	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
6		R2	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200
7		R3	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100
8		R4	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
9	TBO3	R1	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200
10		R2	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
11		R3	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
12		R4	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100

13	TBO4	R1	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100
14		R2	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
15		R3	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200
16		R4	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100
17	TBO5	R1	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100
18		R2	0,200	0,100	0,200	0,100	0,200	0,200
19		R3	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100
20		R4	0,100	0,200	0,200	0,100	0,200	0,100
21	TBO6	R1	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
22		R2	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100	0,200
23		R3	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100
24		R4	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.3.5. Ensayo de humedad

Tabla 8-3: Humedad de las láminas

ENSAYO DE HUMEDAD		
N°	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	0,727	0,616
2	0,742	0,626
3	0,737	0,622
4	0,731	0,618
5	0,753	0,634
6	0,751	0,632
7	0,741	0,625
8	0,735	0,621
9	0,811	0,684
10	0,785	0,656
11	0,723	0,612
12	0,789	0,659
13	0,714	0,606
14	0,721	0,611
15	0,727	0,615
16	0,711	0,604
17	0,766	0,643
18	0,760	0,639
19	0,755	0,635
20	0,773	0,648
21	0,770	0,646
22	0,763	0,641
23	0,760	0,639
24	0,759	0,638

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.3.6. Ensayo de solubilidad

Tabla 9-3: Solubilidad de las muestras

N°	Tratamiento	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	TBO1	0,6840	0,5080
2		0,6798	0,5125
3		0,6985	0,5126
4		0,6852	0,5099
5	TBO2	0,6159	0,4433
6		0,6056	0,4411
7		0,5998	0,4412
8		0,5963	0,4423
9	TBO3	0,4810	0,3601
10		0,4895	0,3501
11		0,4955	0,3499
12		0,4798	0,3598
13	TBO4	0,8660	0,6570
14		0,8549	0,6012
15		0,8245	0,6001
16		0,8235	0,6002
17	TBO5	0,5230	0,3821
18		0,5132	0,3819
19		0,5423	0,3789
20		0,5125	0,3789
21	TBO6	0,4980	0,3565
22		0,4896	0,3468
23		0,4895	0,3568
24		0,4895	0,3521

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.1.3.7. Biodegradabilidad de las láminas

Tabla 10-3: Degradabilidad en suelo

N°	Tratamiento	Unidad	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15	Día 18	Día 21	Día 24	Día 27	Día 30
1	TBO1	cm ²	8,958	8,681	6,735	6,640	6,558	6,501	6,472	6,069	5,987	5,705	5,468
2	TBO2		8,947	8,588	7,297	6,987	6,650	6,615	6,519	6,257	6,105	5,908	5,565
3	TBO3		8,968	8,695	7,382	7,025	6,309	6,286	6,258	6,008	5,864	5,632	5,582
4	TBO4		8,987	8,173	8,121	7,105	6,212	6,209	6,178	6,020	5,838	5,768	5,681
5	TBO5		8,997	8,796	7,309	7,080	6,436	6,525	5,899	5,715	5,611	5,501	4,689
6	TBO6		8,985	8,665	8,148	7,125	6,332	6,206	6,065	5,958	5,705	5,657	5,576

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 11-3: Degradabilidad en ambiente

N°	Tratamiento	Unidad	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15	Día 18	Día 21	Día 24	Día 27	Día 30
1	TBO1	cm ²	8,957	8,909	8,798	8,702	8,597	7,415	7,350	7,321	7,240	7,215	7,195
2	TBO2		8,971	8,935	8,754	8,347	8,269	8,027	7,936	7,711	7,685	7,524	7,348
3	TBO3		8,919	8,889	8,831	8,801	8,164	7,965	7,905	7,845	7,706	7,629	7,601
4	TBO4		8,929	8,635	8,521	8,489	7,788	7,601	7,532	7,256	7,193	7,060	6,982
5	TBO5		9,045	8,999	8,860	8,764	8,325	8,045	7,904	7,704	7,612	7,578	7,508
6	TBO6		8,869	8,476	8,385	8,259	7,917	7,814	7,719	7,513	7,498	7,359	7,325

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 12 -3: Degradabilidad en agua

N°	Tratamiento	Unidad	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15	Día 18	Día 21	Día 24	Día 27	Día 30
1	TBO1	cm ²	8,870	9,803	10,256	11,148	10,325	10,256	10,049	9,958	9,823	9,313	8,691
2	TBO2		8,980	10,305	11,572	11,358	10,769	10,758	10,526	10,509	10,408	10,360	7,835
3	TBO3		8,934	9,374	11,348	10,448	10,499	10,453	10,289	10,284	10,100	9,967	8,780
4	TBO4		8,987	11,205	11,030	10,254	10,524	10,442	10,187	10,353	11,544	9,113	7,300
5	TBO5		8,959	10,613	11,411	11,488	10,423	10,285	10,154	10,084	10,031	9,927	8,158
6	TBO6		8,968	10,898	11,131	11,358	10,456	10,433	10,253	10,022	10,001	9,762	8,298

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.2. Cálculos

3.2.1. Almidón

3.2.1.1. Rendimiento

Para realizar este cálculo se toma en cuenta los datos de la tabla 2-3

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa de materia prima (g)}}{\text{Masa de almidón obtenido (g)}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{40,589 \text{ g}}{350 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 13,60 \%$$

3.2.2. Óxido de grafeno

3.2.2.1. Rendimiento de la síntesis

$$\text{Rendimiento del óxido de grafito} = \frac{\text{Masa de óxido de grafito (g)}}{\text{Masa de grafito (g)}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento del óxido de grafito} = \frac{3,405 \text{ g}}{3 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento del óxido de grafito} = 113,5\%$$

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

$$\text{Rendimiento del óxido de grafeno} = \frac{2,548 \text{ g}}{3,405 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento del óxido de grafeno} = 74,83\%$$

3.2.3. Láminas de plástico biodegradable

3.2.3.1. Permeabilidad de vapor de agua

$$WVP = \frac{(P2 - P1) \times e}{t \times pv \times (\varphi2 - \varphi1)}$$
$$WVP = \frac{(29,966 - 29,913) \times 0,1}{24 \times 0,0028 \times (75 - 0)}$$

$$WVP = 0,001048$$

3.2.3.2. Solubilidad

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

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{(30,873 - 30,700) \times 28 \times 10}{1,25}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = 9,12 \%$$

3.2.3.3. Biodegradabilidad

$$\% \text{ de Biodegradabilidad} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

$$\% \text{ de Biodegradabilidad} = \frac{8,681 - 6,735}{8,681} \times 100$$

$$\% \text{ de Biodegradabilidad} = 24,82\%$$

3.2.3.4. Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla 13-3: ANOVA de desplazamiento máximo

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBO1	4	32,170	8,042	3,012
TBO2	4	41,432	10,358	0,231
TBO3	4	27,772	6,943	5,011
TBO4	4	34,284	8,571	2,313
TBO5	4	34,960	8,740	1,075
TBO6	4	23,889	5,972	3,259

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

En el caso de que una hipótesis ANOVA sea rechazada se debe realizar Test de Tukey para identificar los grupos que difieren.

Donde se calcula:

$$\text{Multiplicador} = 4,548^*$$

$$n = 4$$

$$Mse = \frac{\text{Suma de cuadrados}}{\text{Grados de libertad}}$$

$$Mse = \frac{44,702}{18}$$

$$Mse = 2,484$$

$$HSD = \text{Multiplicador} \times \sqrt{\frac{Mse}{n}}$$

$$HSD = 4 \times \sqrt{\frac{2,484}{4}}$$

$$HSD = 3,152$$

*Revisar tabla de Tukey con los grados de libertad

Tabla 14-3: Test de tukey

	TBO1	TBO2	TBO3	TBO4	TBO5	TBO6
TBO1		-2,315	1,100	-0,529	-0,698	2,070
TBO2			3,415	1,787	1,618	4,386
TBO3				-1,628	-1,797	0,971
TBO4					-0,169	2,599
TBO5						2,768
TBO6						

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3. Resultados

3.3.1. Almidón

3.3.1.1. Ensayo físico de la materia prima

Tabla 15-3: Ensayo de prueba física de la materia prima

N°	Producto	Característica	Cantidad
1	OCA	Peso (g)	34,72
2		Longitud (mm)	77,33
3		Espesor (mm)	27,43

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

En base a los ensayos físicos de la materia prima descritos en la Tabla 13-3, se permitió determinar los promedios de peso 34,72 g, longitud 77,33 mm y espesor 27,43 mm, mismos que son similares a los expuestos en la investigación de (Pastuizaca, 2020, p.45) por lo que es necesario establecer que las diferencias existentes son debido a que depende netamente del lugar donde se adquiere la materia prima.

3.3.1.2. Rendimiento de la obtención de almidón

Tabla 16-3: Rendimiento de la obtención de almidón

OBTENCIÓN DE ALMIDÓN	
N°	RENDIMIENTO (%)
1	23,783
2	21,867
3	21,967
4	22,15
5	21,983
6	23,833
7	22,517
8	22,617

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.1.3. Caracterización de la materia prima y almidón

Tabla 17-3: Caracterización de la materia prima y almidón

PRODUCTO	No .	PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA / INSTITUCIÓN
MATERIA PRIMA	1	Humedad	%	79,51	-	FAO
	2	Ceniza	%	5,33	-	FAO
	3	Solubilidad	%	13,25	-	FAO
	4	pH	%	5,38	-	FAO
	5	Fibra	%	1,93	-	SAQMIC
	6	Proteína	%	1,09	-	SAQMIC
	7	Viscosidad		590,00	-	FAO
	8	Hongos	UFC/g	Ausencia	Min: 1x10 ³ Max: 1x10 ⁴	SAQMIC
	9	Levaduras y mohos	UFC/g	<10	Min: 1x10 ³ Max: 1x10 ⁴	SAQMIC
	10	Coliformes totales	UFC/g	490,00	-	SAQMIC
ALMIDÓN DE OCA	1	Humedad	%	11,48	10-13	FAO
	2	Ceniza	%	0,08	≤0,12	FAO
	3	Solubilidad	%	9,12	0,27-12,32	FAO
	4	pH		6,45	6,00-7,00	FAO
	5	Viscosidad		1359,00	840-1500 SP	FAO
	6	Temperatura de gelatinización	°C	60,00	-	FAO
	7	Amilosa	%	40,51	-	INIAP
	8	Amilopectina	%	59,49	-	INIAP
	9	Hongos	UPC/g	<10	1000-5000	SAQMIC
	10	Levaduras y mohos	UPC/g	<10	1000-5000	SAQMIC
	11	Coliformes totales	UPC/g	20,00	Ausencia	SAQMIC

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.2. Óxido de grafeno

3.3.2.1. Rendimiento de la síntesis

Tabla 18-3: Rendimiento

RENDIMIENTO DE LA SÍNTESIS	
Sustancia	%
Óxido de grafito	113,5
Óxido de grafeno	84,93

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

El rendimiento de la síntesis de óxido de grafito refleja un rendimiento mayor al 100% esto debido a que los reactivos reaccionan generando nuevos grupos funcionales los cuales le agregan peso extra al óxido de grafito, continuando con el proceso de síntesis se obtiene 84,93% de rendimiento de síntesis de óxido de grafeno, este rendimiento se debe a que al exfoliar las superficies extensas del compuesto se pierde material, así como también en el secado se puede perder partículas que se encuentran suspendidas en la solución y se elimina el grafito que no se haya oxidado, sin embargo es importante recalcar que el método y las condiciones de síntesis fueron óptimos.

3.3.2.2. Espectroscopía Visible-Ultravioleta (UV-Vis)

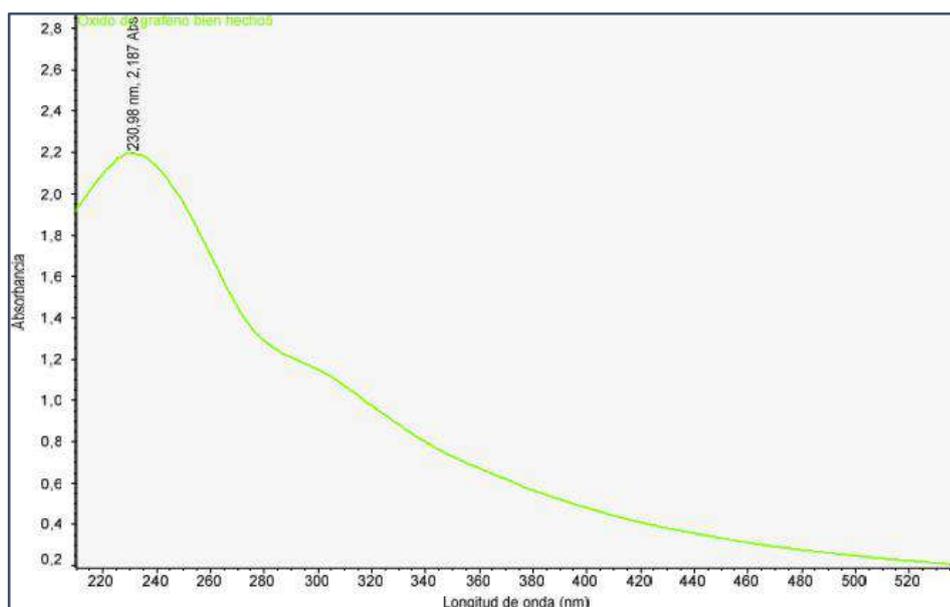


Figura 2-3: UV-Vis del óxido de grafeno

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

El espectro UV-Vis del óxido de grafeno en suspensión mostró un pico de absorbancia de 230,08 nm el cual puede ser atribuido a las transiciones $\pi \rightarrow \pi^*$ de los enlaces presentes de $C = C$, los cuales corresponden a los grupos aromáticos, según (Marcano et al., 2010, p.8), el pico de absorbancia característico del óxido de grafeno esta comprendido entre 227-231 nm, por lo que se establece que se encuentra dentro del rango.

3.3.2.3. Espectroscopia FTIR

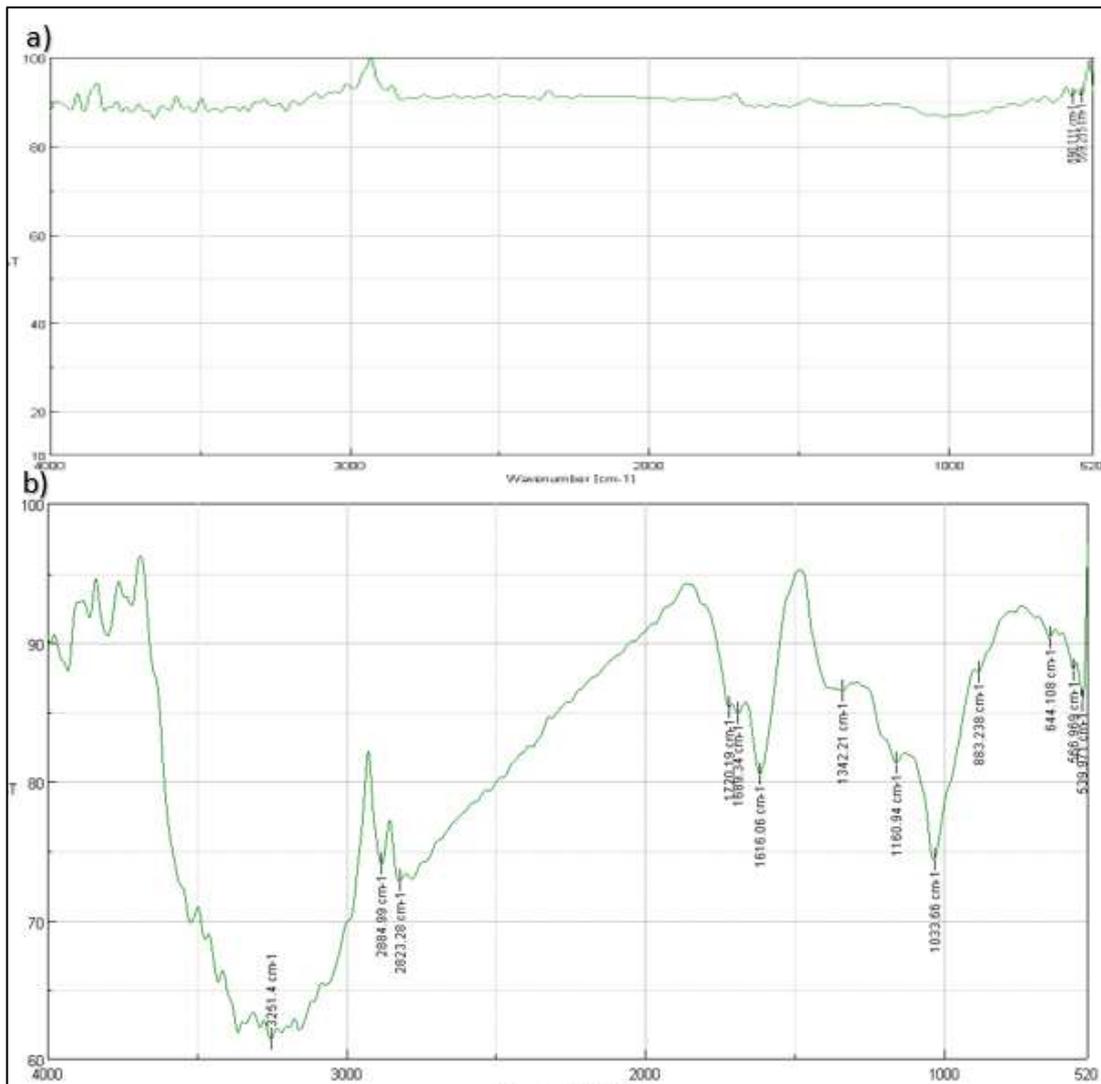


Figura 3-3: a) FITR de grafito b) FTIR del oxido del grafeno

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

En la espectroscopia a) correspondiente al Grafito podemos observar que existe una línea irregular con tendencia a la linealidad debido a que el grafito está compuesto por 99% de Carbono.

En la espectroscopia del óxido de grafeno se puede visualizar que existen presencia de grupos funcionales, esto debido a que el grafito se oxido. En el punto $3251,4 \text{ cm}^{-1}$ las vibraciones

pertenecen a un hidroxilo (OH), en el punto $1720,19\text{ cm}^{-1}$ las vibraciones corresponden al grupo carbonilo, en el punto $1689,34\text{ cm}^{-1}$ las vibraciones corresponde al grupo funcional carboxilo y en el punto $883,23\text{ cm}^{-1}$ corresponde al grupo funcional epóxido grupos funcionales que según la investigación de (Tubon, 2015, p.1) son aquellos que describen una obtención de óxido de grafeno mediante oxidación.

3.3.3. Láminas de plástico biodegradable

3.3.3.1. Ensayo de humedad

Tabla 19-3: Ensayo de humedad

ENSAYO DE HUMEDAD		
N°	Tratamiento	Humedad %
1	TBO1	15,478
2	TBO2	15,706
3	TBO3	15,953
4	TBO4	15,227
5	TBO5	16,037
6	TBO6	16,025

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.2. Ensayo de permeabilidad

Tabla 20-3: Ensayo de permeabilidad

ENSAYO DE PERMEABILIDAD		
N°	Tratamiento	Permeabilidad
1	TBO1	0,00106
2	TBO2	0,00093
3	TBO3	0,00083
4	TBO4	0,00090
5	TBO5	0,00098
6	TBO6	0,00109

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.3. Ensayo de solubilidad

Tabla 21-3: Ensayo de humedad

ENSAYO DE SOLUBILIDAD		
N°	Tratamiento	Solubilidad %
1	TBO1	25,635
2	TBO2	26,864
3	TBO3	27,002
4	TBO4	27,036
5	TBO5	27,181
6	TBO6	28,190

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.4. Biodegradabilidad en agua

Tabla 22-3: Resultados de biodegradabilidad en agua

N°	Tratamiento	Unidad	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15	Día 18	Día 21	Día 24	Día 27	Día 30
1	TBO1	cm ²	8,87	9,80	10,26	11,15	10,33	10,26	10,05	9,96	9,82	9,31	8,69
		%	0,00	-10,52	-15,63	-25,68	-16,40	-15,63	-13,29	-12,27	-10,74	-4,99	2,02
2	TBO2	cm ²	8,98	10,31	11,57	11,36	10,77	10,76	10,53	10,51	10,41	10,36	7,84
		%	0,00	-14,76	-28,86	-26,48	-19,92	-19,80	-17,22	-17,03	-15,90	-15,37	12,75
3	TBO3	cm ²	8,93	9,37	11,35	10,45	10,50	10,45	10,29	10,28	10,10	9,97	8,78
		%	0,00	-4,93	-27,02	-16,95	-17,52	-17,00	-15,17	-15,11	-13,05	-11,56	1,72
4	TBO4	cm ²	8,99	11,21	11,03	10,25	10,52	10,44	10,19	10,35	11,54	9,11	7,30
		%	0,00	-24,68	-22,73	-14,10	-17,10	-16,19	-13,35	-15,20	-28,45	-1,40	18,77
5	TBO5	cm ²	8,96	10,61	11,41	11,49	10,42	10,29	10,15	10,08	10,03	9,93	8,16
		%	0,00	-18,46	-27,37	-28,23	-16,34	-14,80	-13,34	-12,56	-11,97	-10,80	8,94
6	TBO6	cm ²	8,97	10,90	11,13	11,36	10,46	10,43	10,25	10,02	10,00	9,76	8,30
		%	0,00	-21,52	-24,12	-26,65	-16,59	-16,34	-14,33	-11,75	-11,52	-8,85	7,47

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.5. Biodegradabilidad en suelo

Tabla 23-3: Biodegradabilidad en suelo

N°	Tratamiento	Unidad	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15	Día 18	Día 21	Día 24	Día 27	Día 30
1	TBO1	cm ²	8,958	8,681	6,735	6,640	6,558	6,501	6,472	6,069	5,987	5,705	5,468

		%	0	3,092	24,816	25,876	26,792	27,428	27,752	32,251	33,166	36,314	38,960
2	TBO2	cm ²	8,947	8,588	7,297	6,987	6,650	6,615	6,519	6,257	6,105	5,908	5,565
		%	0	4,013	18,442	21,907	25,673	26,065	27,138	30,066	31,765	33,967	37,800
3	TBO3	cm ²	8,968	8,695	7,382	7,025	6,309	6,286	6,258	6,008	5,864	5,632	5,582
		%	0	3,044	17,685	21,666	29,650	29,906	30,219	33,006	34,612	37,199	37,756
4	TBO4	cm ²	8,987	8,173	8,121	7,105	6,212	6,209	6,178	6,020	5,838	5,768	5,681
		%	0	9,058	9,636	20,941	30,878	30,911	31,256	33,014	35,040	35,818	36,786
5	TBO5	cm ²	8,997	8,796	7,309	7,080	6,436	6,525	5,899	5,715	5,611	5,501	4,689
		%	0	2,234	18,762	21,307	28,465	27,476	34,434	36,479	37,635	38,857	47,883
6	TBO6	cm ²	8,985	8,665	8,148	7,125	6,332	6,206	6,065	5,958	5,705	5,657	5,576
		%	0	3,561	9,316	20,701	29,527	30,929	32,499	33,689	36,505	37,040	37,941

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.6. Biodegradabilidad en ambiente

Tabla 24-3: Biodegradabilidad en ambiente

N°	Tratamiento	Unidad	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15	Día 18	Día 21	Día 24	Día 27	Día 30
1	TBO1	cm ²	8,957	8,909	8,798	8,702	8,597	7,415	7,350	7,321	7,240	7,215	7,195
		%	0,000	0,536	1,775	2,847	4,019	17,216	17,941	18,265	19,169	19,448	19,672
2	TBO2	cm ²	8,971	8,935	8,754	8,347	8,269	8,027	7,936	7,711	7,685	7,524	7,348
		%	0,000	0,401	2,419	6,956	7,825	10,523	11,537	14,045	14,335	16,130	18,092
3	TBO3	cm ²	8,919	8,889	8,831	8,801	8,164	7,965	7,905	7,845	7,706	7,629	7,601
		%	0,000	0,336	1,098	1,434	8,568	10,796	11,468	12,140	13,697	14,559	14,873

4	TBO4	cm ²	8,929	8,635	8,521	8,489	7,788	7,601	7,532	7,256	7,193	7,060	6,982
		%	0,000	3,293	4,569	4,928	12,779	14,873	15,646	18,737	19,442	20,932	21,805
5	TBO5	cm ²	9,045	8,999	8,860	8,764	8,325	8,045	7,904	7,704	7,612	7,578	7,508
		%	0,000	0,509	2,045	3,107	7,960	11,056	12,615	14,826	15,843	16,219	16,993
6	TBO6	cm ²	8,869	8,476	8,385	8,259	7,917	7,814	7,719	7,513	7,498	7,359	7,325
		%	0,000	4,431	5,457	6,878	10,734	11,895	12,967	15,289	15,458	17,026	17,409

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.7. Pruebas mecánicas

Tabla 25-3: Pruebas mecánicas

No.	PRODUCTO	TRATAMIENTO	MÓDULO ELÁSTICO D (Mpa)	CARGA MÁXIMA A (MPa)	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO	ESFUERZO MÁXIMO (Mpa)	DEFORMACIÓN MÁXIMA (%)	ROTURA A CARGA (N)
1	LÁMINAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE OCA	TBO1	2,79E+01	5,293	8,042	2,673	20,106	0,835
2		TBO2	2,49E+01	5,529	10,358	2,770	25,895	1,065
3		TBO3	3,32E+01	4,661	6,943	3,108	17,357	0,910
4		TBO4	2,49E+01	5,147	8,571	2,619	21,428	0,748
5		TBO5	2,49E+01	5,210	8,740	2,578	21,850	0,553
6		TBO6	2,91E+01	6,113	5,972	2,830	14,930	1,909

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.3.3.8. Análisis de la varianza (ANOVA)

- Módulo elástico

Tabla 26-3: ANOVA de módulo elástico

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	221,584	5	44,317	0,496	0,775	2,773
Dentro de los grupos	1609,568	18	89,420			
Total	1831,152	23				

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tomando en cuenta que el valor de F es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis. Con lo que se puede inferir que se puede tomar cualquiera de los tratamientos ya que no tienen diferencias significativas en cuanto a módulo elástico.

- Carga máxima

Tabla 27-3: ANOVA de carga máxima

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4,593	5	0,919	0,608	0,695	2,773
Dentro de los grupos	27,180	18	1,510			
Total	31,773	23				

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tomando en cuenta que el valor de F es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis. Con lo que se puede inferir que se puede tomar cualquiera de los tratamientos ya que no tienen diferencias significativas en cuanto a carga máxima.

- Desplazamiento máximo

Tabla 28-3: ANOVA de desplazamiento máximo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	46,399	5	9,280	3,737	0,017	2,773
Dentro de los grupos	44,702	18	2,483			
Total	91,102	23				

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Dado a que el valor de F es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis y por lo tanto se realiza el test de Tukey para determinar entre que tratamientos existe diferencia significativa.

En donde se plantea que existe diferencia significativa en los tratamientos TBO2 Y TBO6.

- Esfuerzo máximo

Tabla 29-3: ANOVA de esfuerzo máximo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,746	5	0,149	0,157	0,975	2,773
Dentro de los grupos	17,134	18	0,952			
Total	17,880	23				

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

En referencia al valor de F obtenida se acepta la hipótesis y se infiere que se puede elegir cualquiera de los tratamientos ya que no existen diferencias significativas entre ellas.

- Deformación máxima

Tabla 30-3: ANOVA de deformación máxima

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	289,998	5	58,000	3,74	0,02	2,77
Dentro de los grupos	279,389	18	15,52			
Total	569,387	23				

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Con el valor de F menor a 0.05, se rechaza la hipótesis y se realiza test de Tukey para determinar que tratamientos son los que tienen diferencias significativas, en este caso entre los tratamientos TBO2 Y TBO6

- Rotura carga

Tabla 31-3: ANOVA de rotura carga

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4,522	5	0,904	1,802	0,163	2,773
Dentro de los grupos	9,035	18	0,502			
Total	13,557	23				

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Con el valor de F mayor a 0.05, se infiere que se puede utilizar cualquiera de los tratamientos.

3.3.3.9. Valoración económica

Tabla 32-3: Precio unitario de almidón

PRECIO UNITARIO DE ALMIDON		
Inversión (\$)	Almidón (g)	P. Unitario (\$/g)
40,472	1200,640	0,034

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 33-3: Precio unitario de óxido de grafeno

PRECIO UNITARIO DE OXIDO DE GRAFENO (g)		
Inversión (\$/L)	P.Unitario (\$/L)	P. Unitario (\$/ml)
48,631	48,631	0,0486

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Tabla 34-3: Precio de cada lámina de plástico

PRECIO UNITARIO DE CADA TRATAMIENTO					
OXIDO DE GRAFENO (ml)	PRECIO UNITARIO (\$/ml)	PRECIO TOTAL	TRATAMIENTO	PRECIO FINAL*	PRECIO FINAL POR LAMINA
0,5	0,0486	0,024	TBO1	0,602	0,200750213
1		0,049	TBO2	0,627	0,208855317
1,5		0,073	TBO3	0,651	0,216960421
2		0,097	TBO4	0,675	0,225065525
2,5		0,122	TBO5	0,700	0,233170629
3		0,146	TBO6	0,724	0,241275733

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Cada tratamiento tiene como rendimiento 3 láminas de plástico

Económicamente se puede definir que el tratamiento óptimo para producción es el tratamiento TBO1, ya que su costo de producción es de 0,200.

3.3.3.10. Porcentajes de mejoramiento

Tabla 35-3: Porcentaje de mejoramiento de las láminas

N ^o	TRATAMIENTO	MÓDULO ELÁSTICO (%)	CARGA MÁXIMA (%)	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (%)	ESFUERZO MÁXIMO (%)	DEFORMACIÓN MÁXIMA (%)	ROTURA CARGA (%)
1	TBO1	19,81	400,53	91,73	2,79	0,92	0,65
2	TBO2	7,21	422,81	146,93	2,93	1,47	1,10
3	TBO3	42,94	340,78	65,52	3,41	0,66	0,79
4	TBO4	7,21	386,70	104,33	2,72	1,04	0,47
5	TBO5	7,21	392,67	108,36	2,66	1,08	0,09
6	TBO6	25,07	478,01	42,37	3,01	0,42	2,76

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

Las láminas de plástico biodegradable presentaron un mejoramiento considerable al agregar óxido de grafeno, es importante recalcar que en dependencia de las necesidades se puede escoger la lámina de plástico a fabricar, ya que económicamente el tratamiento TBO1 es el mas viable, mientras que, en dependencia de la necesidad de resistencias, fuerza, deformación se puede escoger el tratamiento que mejor convenga.

3.4. Prueba de hipótesis

3.4.1. Hipótesis 1

Mediante la caracterización físico, química y microbiológica de la materia prima y el almidón se determinó que estas se encuentran dentro de la norma FAO misma que permite identificar, mismos valores que se encuentran descritos en la TABLA 15-3.

3.4.2. Hipótesis 2

Los ensayos mecánicos comprobaron que existe mejoramiento de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable, con una mejor significativa en módulo elástico y en deformación máxima.

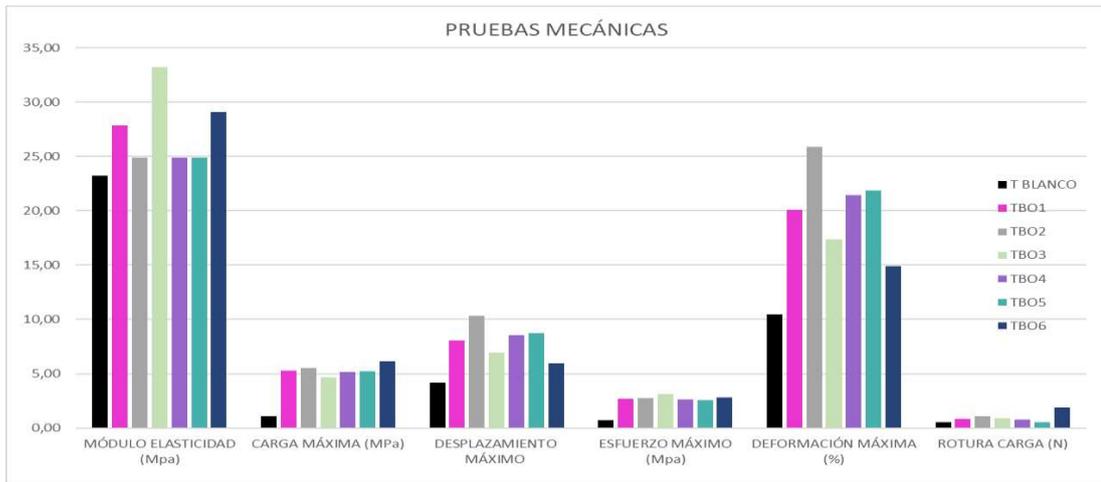


Gráfico 1-3: Pruebas mecánicas

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.4.3. Hipótesis 3

Mediante la exposición a factores medio ambientales como agua, suelo y ambiente se pudo determinar el tiempo de degradación tomando en cuenta la pérdida de área de las láminas de plástico obtenidas, siendo el suelo el factor medio ambiental que permite la degradación con mayor rapidez.

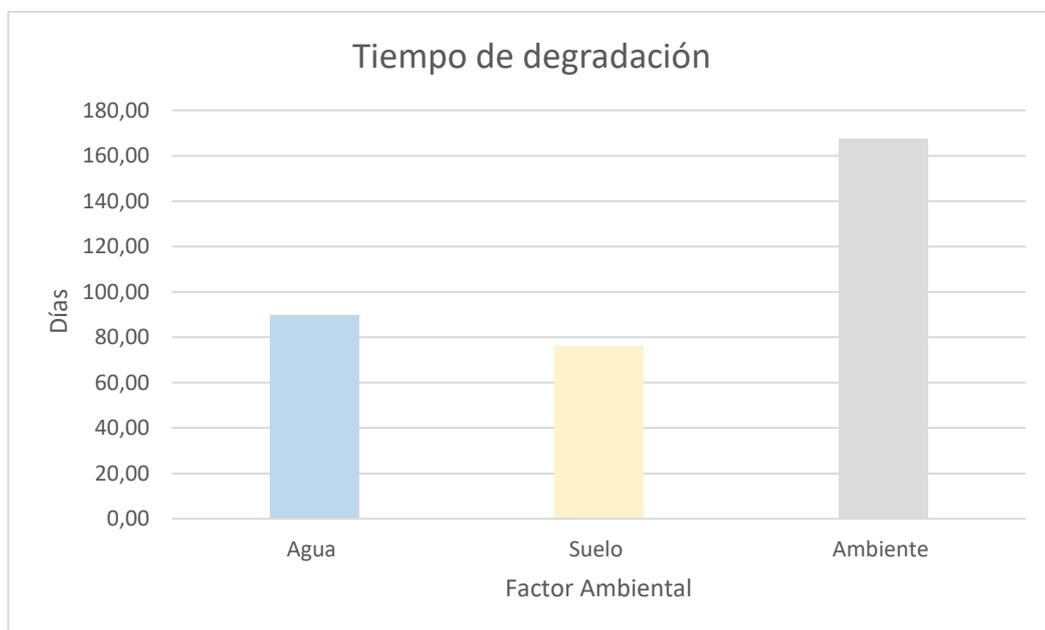


Gráfico 2-3: Tiempo de degradación

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

3.4.4. Hipótesis 4

Con la aplicación de valoración económica de los insumos y reactivos utilizados se cuantifico el costo de producción de cada lámina de plástico biodegradable obtenido a partir de oca, el cual se encuentra descrito en la TABLA 32-3, valores que permiten identificar el plástico que económicamente es más viable.

CONCLUSIONES

- ✓ La incidencia que posee el óxido de grafeno en la obtención de láminas de plástico permitió verificar la mejora significativa de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradables de oca (*Oxalis tuberosa*).
- ✓ Mediante determinación físico, química y microbiológica se conoció que la materia prima contiene 79,51 % de humedad, 5,33% de cenizas, solubilidad de 13,25, viscosidad de 590 cP, mientras que el almidón 11,48% de humedad, 0,08% de cenizas, 40,71 % de amilosa y amilopectina 59,49 %.
- ✓ Las propiedades mecánicas de los plásticos biodegradables presentaron porcentajes de mejoramiento considerables donde: el TBO2 posee los mejores porcentajes de mejoramiento en desplazamiento y deformación máximos, TBO3 presenta mejoramiento considerable en las propiedades de módulo de elasticidad y esfuerzo máximo, y TBO6 mejoró considerablemente en las propiedades de carga máxima y rotura de carga. Los tratamientos TBO1, TBO4 Y TBO5, presentaron porcentajes de mejoramiento considerables, pero se encuentran en un punto medio entre los rangos mayor y menor.
- ✓ Mediante la exposición a factores medio ambientales, se pudo identificar que el tiempo de degradación de las láminas de plástico obtenidas depende el factor al que son sometidas, en ambiente 167,5 día, en agua 89,83 días y en suelo 76,16 días.
- ✓ El costo de producción del plástico biodegradable de oca varía en dependencia de la cantidad de óxido de grafeno que se le añade a la mezcla, por lo que el precio para los tratamientos es diferente, siendo así que TBO1 tiene como precio de producción 0,201 centavos, TBO2 tiene como costo de producción 0,209 centavos, TBO3 posee como valor de producción 0,217 centavos, TBO4 tiene como costo de obtención 0,225 centavos, TBO5 posee como precio de manufactura 0,233 centavos Y TBO6 posee como costo de producción 0,241.

RECOMENDACIONES

- Los residuos de la obtención del almidón podrían ser reutilizados, ya que podrían contener una cantidad considerable de almidón que aún no se ha recuperado.
- Los residuos de la síntesis del óxido de grafito podrían ser analizados para su posterior oxidación, ya que existe grafito sin oxidarse el cual genera pérdidas considerables de material, ya que al exfoliar la superficie se elimina.
- Durante los lavados para la síntesis de óxido de grafeno utilizar los materiales necesarios para evitar la pérdida de material.
- Tomar en cuenta la temperatura de gelatinización del almidón y la consistencia perfecta para que la mezcla permita un fácil esparcimiento en los moldes.
- Secar las láminas de plástico en ambientes ventilados para evitar su putrefacción durante el proceso de eliminación de humedad.

BIBLIOGRAFÍA

AMRI, A., et al. "The effects of graphene oxide functionalization on the properties of sago starch-based bioplastics". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea], 2018, 420(1), p.1. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1757-899X. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/420/1/012061>

ARISTIZÁBAL, J. & SÁNCHEZ, T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, 2007*. Roma: s.n. ISBN 1020-4334.

BHER, A., et al. "Graphene modifies the biodegradation of poly(lactic acid)- thermoplastic cassava starch reactive blend films". *Polymer Degradation and Stability* [en línea], 2019, (EE.UU) 164(11) pp. 187-197. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 2022-2198. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391019301326>.

CAJAMARCA, E. Evaluación nutricional de la oca (oxalis tuberosa) fresca, endulzada y deshidratada y deshidratada en secador de bandejas [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2010. p. 1. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/217/1/56T00191.pdf>. 2010

CHARRO, M. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. p. 1. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

CHEN, J., et al. 2013. "An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide". *Carbon* [en línea], 2013, 64(1), pp. 225-229. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1993-1998 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622313006891?via%3Dihub>.

DAI, Y., et al. 2019. "Determination of starch gelatinization temperatures by an automated headspace gas chromatography". *Journal of Chromatography A* [en línea], 2019, 16(2), pp. 419-424. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1873-3778. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967319305783>

ESPÍN, S. et al. *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una*

decada de investigacion para el desarrollo: Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador [en línea]. 4ta Ed. Quito-Ecuador: SN AsoC, 2003. [Consulta: 15 abril 2022]. Disponible en: https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/RTAs_Ecuador_00.pdf

FLURY, M. & NARAYAN, R. "Biodegradable plastic as an integral part of the solution to plastic waste pollution of the environment". *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [en línea], 2021, 30(3), pp. 1-17. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1040-4190. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223621000468>

GEIM, A. "Graphene: Status and Prospects". *Science* [en línea], 2009, 324(1), pp. 1530-1534. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1010-1126. Disponible en: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1158877>

GLOBAL NATURE FOUND, 2018. *Tubérculos* [en línea]. Raices y Tallos andinos, 2018. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/FS_Sugar_Spanish_18_6_18_online.pdf

GRANADOS, C., et al. "PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON DE SAGU (Maranta arundinacea)". *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2014, 12(1), pp. 1692-3561. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 2647-1985. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200010#:~:text=El índice de solubilidad del,amilosa%2Familopectina %5B15%5D.

GUAILLAZACA, C. & HERNANDEZ, V. "Clasificador de Productos Agrícolas para Control de Calidad basado en Machine Learning e Industria 4.0". *Revista Perspectivas* [en línea], 2020, 2(1), pp. 10-17. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1033-1045. Disponible en: http://perspectivas.esPOCH.edu.ec:8081/index.php/RCP_ESPOCH/issue/view/4.

GURLER, N. et al. "Silane doped biodegradable starch-PLA bilayer films for food packaging applications: Mechanical, thermal, barrier and biodegradability properties". *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea], 2021, 123(1), pp. 266-271. [Consulta: 20 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107021002881>

HUMMERS, W. & OFFEMAN, R. "Preparation of Graphitic Oxide". *Journal of the American Chemical Society* [en línea], 1957, 80(1), pp. 13-39. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1016-

2410. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01539a017>

KHAN, S. *Isolation of extracellular proteins from ophiostoma ulmi and their effect on tensile properties of thermoplastic starch* [en línea]. University of Toronto, 2010. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/27310/6/Khan_Sadia_201003_MSc_thesis.pdf

KUMAR, A. et al. "Synthesis and Application of Graphene Oxide (GO): A Review". *International Journal for Scientific Research & Development* [en línea], 2016, 4(1), pp. 24-25. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1215-0604. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307977723_Synthesis_and_Application_of_Graphene_Oxide_GO_A_Review

LUNAVICTORIA, M. 2020 Síntesis y caracterización de óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p. 1. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14311>

LUO, H. "Theory Natural" *A Theoretical Study of Graphene Oxide Chemical Structure* [en línea], 2016, 1(1) p. 1. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1012-1216. Disponible en: <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:688012>

MARCANO, D. et al. "Improved Synthesis of Graphene Oxide". *American Chemical Society*, 2010, 4(1), p. 8. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1966-1957. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn1006368>

MENECES, J. et al. "SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA". *Revista EIA* [en línea], 2007, 8(1), pp. 2-4. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1015-5748. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006.

ORBEGOSO, G. *Estudio Sobre la Estructura Y Variabilidad de la Oca (Oxalis Tuberosa)* [en línea]. Tuberculos y Raices, 1957. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=RCAOAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=oca+oxalis+tuberosa&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=oca+oxalis+tuberosa&f=false.

PASTUIZACA, M. Obtención de una biopelícula a partir de la oca (oxalis tuberosa) y de la yuca

(manihot esculenta) para la utilización como envoltura de alimentos [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p. 1. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14881>

RUIZ, S. et al. "Biodegradable plastic mulches: Impact on the agricultural biotic environment". *Science of The Total Environment* [en línea], 2021, 750(1), pp. 1-15. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1987-1547. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720347574>

TESTER, R. et al. "Starch composition , fine structure and architecture". *Journal of Cereal Science* [en línea], 2004, 3(9), pp. 151-165. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1574-9854. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521003001139>

TUBON, G. "Produccion agro-social" *Physical and Chemical treatments to produce graphene and their related applications* [en línea] 2015, 1(1), p. 1. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1022-1485. Disponible en: [https://dspace.unical.it/bitstream/handle/10955/1377/Gabriela Tubon- Final Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unical.it/bitstream/handle/10955/1377/Gabriela_Tubon-Final_Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

VELÁZQUEZ, T. Preparación y caracterización de nanocompuestos de almidón/óxido de grafeno en el estado fundido [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Centro de Investigación en Química Aplicada, España. 2016. p. 1. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: <https://docplayer.es/82859383-Centro-de-investigacion-en-quimica-aplicada-tesis-preparacion-y-caracterizacion-de-nanocompuestos-de-almidon-oxido-de-grafeno-en-el-estado-fundido.html>

VASSEGHIAN, Y. et al. "Chemosphere Graphene derivatives in bioplastic : A comprehensive review of properties and future perspectives". *Chemosphere* [en línea], 2022, 286(3), pp. 131-892. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 0045-6535. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565352102364X>

ZHU, F. & CUI, R. "Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches". *FOOD CHEMISTRY* [en línea], 2019, 29(6), pp. 7. [Consulta: 20 marzo 2022]. ISSN 1655-4852. Disponible en : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31202295/>

ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE OCA

<p style="text-align: center;">Recolección</p> 	<p style="text-align: center;">Trituración</p> 
<p style="text-align: center;">Decantación de la mezcla</p> 	<p style="text-align: center;">Secado de almidón húmedo</p> 
<p style="text-align: center;">Triturado del almidón</p> 	<p style="text-align: center;">Tamizado del almidón</p> 

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

ANEXO B: ENSAYO DE LA MATERIA PRIMA Y ALMÍDON

<p>Ensayo de humedad</p> 	<p>Ensayo de viscosidad</p> 
<p>Porcentaje de cenizas</p> 	<p>a. Temperatura de gelatinización</p> 
<p>Ensayo de humedad</p> 	<p>Ensayo de solubilidad</p> 
<p>Ensayo de porcentaje de cenizas</p> 	<p>Ensayo de viscosidad</p> 

Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

ANEXO C: SÍNTESIS DE ÓXIDO DE GRAFENO

<p>Montaje de Equipo</p> 	<p>Peso de grafito</p> 
<p>Solución obtenida</p> 	<p>Lavado de solución</p> 
<p>Lavado con agua destilada</p> 	<p>Lámina de óxido de grafito</p> 
<p>Disolución</p> 	<p>Sonicación</p> 

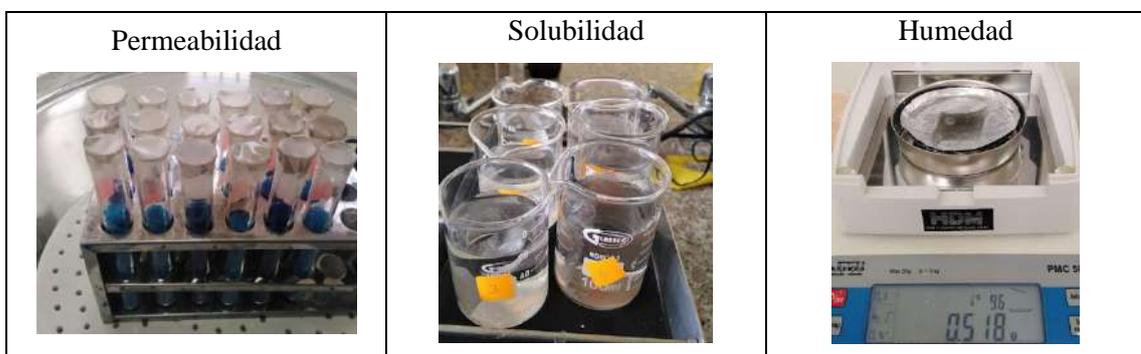
Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

ANEXO D: FORMULACIÓN DE LÁMINAS DE PLÁSTICO



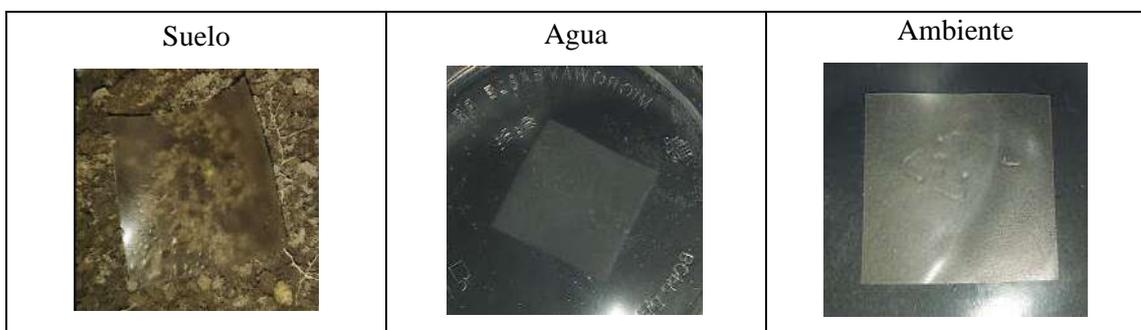
Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

ANEXO E: ENSAYOS DE LÁMINAS DE PLÁSTICO



Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

ANEXO F: DEGRADACIÓN DE LÁMINAS



Realizado por: Villa, Samantha, 2022.

ANEXO G: ENSAYO DE PROPIEDADES MECÁNICAS



Realizado por: Villa, Samantha, 2022.



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 07 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Samantha Liseth Villa Otavalo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
 Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MSc.
ANALISTA DE BI LIOTECA

1375-DBRA-UTP-2022