



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 CAMOTE (*Ipomoea batatas*)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: BRAYAN JOSÉ PÉREZ BONILLA

DIRECTOR: Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA. PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Brayan José Pérez Bonilla**

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

Yo, BRAYAN JOSÉ PÉREZ BONILLA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 1 de agosto de 2022



Brayan José Pérez Bonilla

060454852-9

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 CAMOTE (*Ipomoea batatas*)**, realizado por el señor: **BRAYAN JOSÉ PÉREZ BONILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Ing. Gabriela Viviana Tubón Usca PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2022-08-01 |
| Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  | 2022-08-01 |
| Msg. Marco Raúl Chuiza Rojas MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  | 2022-08-01 |

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado principalmente a mis padres Segundo Juan Pérez y Carmen Alicia Bonilla por ser quienes me han guiado a lo largo de mi formación, aquellos que me han dado la fuerza contra todas las adversidades que se me han presentado y por ser quienes me han enseñado todos los valores que me han ayudado a formarme gracias al ejemplo constante. Para mi hermano Anderson Ariel Pérez el cual espero que siga mis pasos e incluso sea mejor y me supere en todos los aspectos, para mis abuelos, familiares y amigos que siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas, y para esa persona especial que siempre estuvo de principio a fin apoyándome y dándome su aliento Aura Robalino.

Brayan

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de formarme como profesional y ser una ayuda para la sociedad. A mi familia por el apoyo brindado, en especial a Yolanda Lozada ya que ha sido quien me apoyo incondicionalmente en los momentos difíciles durante mi carrera. También a todos esos maestros que son el ejemplo para seguir de ética y moral, y para Jefferson Bautista quien ha sido de gran ayuda para la realización de este trabajo.

Brayan

TABLA DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

| | |
|-----------------------------------------------------|----------|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.1. Identificación del Problema | 2 |
| 1.2. Justificación de la Investigación | 3 |
| 1.3. Objetivos de la Investigación..... | 4 |
| 1.3.1. <i>Objetivo General</i>..... | 4 |
| 1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|-----------------------------------------------------|----------|
| 2. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación | 5 |
| 2.2. Marco Conceptual o Glosario | 7 |
| 2.2.1. <i>Tubérculos</i> | 7 |
| 2.2.2. <i>Camote (Ipomoea batatas)</i> | 7 |
| 2.2.3. <i>Morfología de la planta</i>..... | 7 |
| 2.2.3.1. <i>Hojas</i> | 7 |
| 2.2.3.2. <i>Tallo</i> | 7 |
| 2.2.3.3. <i>Parte tuberosa</i>..... | 8 |
| 2.2.4. <i>Taxonomía</i> | 8 |
| 2.2.5. <i>Suelo</i> | 8 |
| 2.2.6. <i>Clima</i>..... | 8 |
| 2.2.7. <i>Bioplástico</i> | 9 |
| 2.2.8. <i>Polisacáridos</i> | 9 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.9. | <i>Almidón</i> | 9 |
| 2.2.10. | <i>Estructura química del almidón</i> | 10 |
| 2.2.10.1. | <i>Amilosa</i> | 10 |
| 2.2.10.2. | <i>Amilopectina</i> | 10 |
| 2.2.11. | <i>Óxido de Grafeno</i> | 11 |
| 2.2.11.1. | <i>Producción de óxido de grafeno</i> | 11 |
| 2.2.11.2. | <i>Método de extracción de óxido de grafeno</i> | 12 |
| 2.2.12. | <i>Glicerol</i> | 13 |
| 2.3. | Hipótesis General | 13 |
| 2.4. | Hipótesis Específicas | 13 |
| 2.5. | Identificación de Variables | 14 |
| 2.6. | Operacionalización de Variables | 15 |
| 2.7. | Matriz de Consistencia | 16 |
| 2.8. | Tipo y Diseño de Investigación | 18 |
| 2.9. | Unidad de Análisis | 18 |
| 2.10. | Población de Estudio | 18 |
| 2.11. | Tamaño de Muestra | 19 |
| 2.12. | Selección de muestra | 19 |
| 2.13. | Técnicas de Recolección de Datos | 20 |
| 2.13.1. | <i>Extracción de almidón de camote</i> | 20 |
| 2.13.1.1. | <i>Técnica de extracción de almidón</i> | 20 |
| 2.13.1.2. | <i>Análisis para realizar la caracterización del almidón de camote</i> | 22 |
| 2.13.1.3. | <i>Técnica de extracción de óxido de grafeno</i> | 24 |
| 2.13.1.4. | <i>Técnica de obtención de bioplástico</i> | 26 |
| 2.13.1.5. | <i>Caracterización de láminas de plástico biodegradable</i> | 28 |

CAPÍTULO III

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 30 |
| 3.1. | Datos obtenidos de los ensayos realizados | 30 |
| 3.1.1. | <i>Extracción por vía húmeda de almidón de camote</i> | 30 |
| 3.1.2. | <i>Ensayos fisicoquímicos para el almidón y la materia prima</i> | 31 |
| 3.1.3. | <i>Ensayos microbiológicos para el almidón y la materia prima</i> | 32 |
| 3.1.4. | <i>Pruebas preliminares para la elaboración de las láminas de plástico biodegradable</i> | 33 |
| 3.1.4.1. | <i>Formulación de almidón y glicerina con óxido de grafeno para obtención de bioplástico</i> | 33 |

| | | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.5. | <i>Estructura y espectros de los materiales</i> | 34 |
| 3.1.5.1. | <i>Interpretación de los espectros UV e IR</i> | 35 |
| 3.1.6. | <i>Datos para determinar las propiedades mecánicas, físicas y biodegradables para las láminas de bioplástico de camote</i> | 39 |
| 3.1.6.1. | <i>Datos de espesor para las láminas de plástico biodegradable de camote</i> | 39 |
| 3.1.6.2. | <i>ANOVA del espesor (mm)</i> | 40 |
| 3.1.7. | <i>Ensayo de humedad</i> | 43 |
| 3.1.8. | <i>Ensayo de solubilidad</i> | 43 |
| 3.1.9. | <i>Ensayo de permeabilidad</i> | 44 |
| 3.1.9.1. | <i>Análisis de permeabilidad</i> | 44 |
| 3.1.10. | <i>Pruebas mecánicas</i> | 45 |
| 3.1.10.1. | <i>Porcentaje de mejora</i> | 46 |
| 3.2. | <i>Cálculos</i> | 50 |
| 3.2.1. | <i>Almidón</i> | 50 |
| 3.2.1.1. | <i>Rendimiento de la extracción por vía húmeda</i> | 50 |
| 3.2.1.2. | <i>Contenido de cenizas</i> | 51 |
| 3.2.1.3. | <i>Índice de solubilidad en agua</i> | 51 |
| 3.2.2. | <i>Bioplásticos</i> | 51 |
| 3.2.2.1. | <i>Porcentaje de solubilidad</i> | 51 |
| 3.2.2.2. | <i>Cálculo de permeabilidad</i> | 51 |
| 3.2.2.3. | <i>Cálculo de biodegradabilidad</i> | 52 |
| 3.2.3. | <i>Factibilidad económica</i> | 55 |
| 3.3. | <i>Discusión</i> | 56 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1-2: Estudios realizados sobre la obtención y estudio de plásticos biodegradables como antecedentes para la investigación | 6 |
| Tabla 2-2: Taxonomía del camote (Ipomoea batatas)..... | 8 |
| Tabla 3-2: Identificación de variables..... | 14 |
| Tabla 4-2: Operacionalización de variables..... | 15 |
| Tabla 5-2: Matriz de consistencia | 16 |
| Tabla 6-2: Formulación para la obtención de láminas de plásticos biodegradable del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno..... | 19 |
| Tabla 7-2: Técnica de extracción de almidón de camote..... | 20 |
| Tabla 8-2: Ensayos para realizar la caracterización del almidón de camote..... | 22 |
| Tabla 9-2: Técnica de obtención de plástico biodegradable | 24 |
| Tabla 10-2: Técnica de obtención de plástico biodegradable | 26 |
| Tabla 11-2: Ensayos para realizar la caracterización de las láminas de plásticos biodegradables provenientes del almidón de camote | 28 |
| Tabla 12-3: Datos de los análisis físicos realizados a la materia prima..... | 30 |
| Tabla 13-3: Extracción de almidón de camote vía húmeda | 30 |
| Tabla 14-3: Parámetros analizados del almidón | 31 |
| Tabla 15-3: Parámetros analizados de la materia prima | 32 |
| Tabla 16-3: Porcentaje de amilosa y amilopectina en el almidón..... | 32 |
| Tabla 17-3: Parámetros analizados para la materia prima | 32 |
| Tabla 18-3: Parámetros analizados para el almidón | 32 |
| Tabla 19-3: Determinación de la cantidad de almidón y glicerina a emplear para obtención de bioplástico con óxido de grafeno | 33 |
| Tabla 20-3: Estructuras y espectros de los materiales | 34 |
| Tabla 21-3: Nomenclatura y volumen utilizado de óxido de grafeno..... | 38 |
| Tabla 22-3: Datos de espesor para las láminas de plástico biodegradable de camote | 39 |
| Tabla 23-3: Resumen estadístico para espesor promedio (mm) | 40 |
| Tabla 24-3: Parámetros estadísticos para espesor promedio (mm)..... | 40 |
| Tabla 25-3: ANOVA para espesor promedio (mm) por tratamientos..... | 41 |
| Tabla 26-3: Medias para espesor promedio (mm) por tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%..... | 41 |
| Tabla 27-3: Humedad de bioplásticos..... | 43 |
| Tabla 28-3: Solubilidad de bioplásticos..... | 44 |
| Tabla 29-3: Resultados de permeabilidad..... | 44 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 30-3: Pruebas mecánicas de bioplástico con óxido de grafeno..... | 45 |
| Tabla 31-3: Pruebas mecánicas de bioplásticos sin óxido de grafeno | 46 |
| Tabla 32-3: Análisis de varianza para máximo esfuerzo (MPa) - Suma de cuadrados tipo III (ANOVA)..... | 47 |
| Tabla 33-3: Pruebas de Múltiple Rangos para Máximo esfuerzo (Mpa) por tratamientos Método: 95,0 porcentaje LSD..... | 48 |
| Tabla 34-3: Análisis Tukey de Max. Esfuerzo..... | 49 |
| Tabla 35-3: Biodegradabilidad en medio ambiente | 52 |
| Tabla 36-3: Resumen estadístico para biodegradabilidad % (Ambiente)..... | 53 |
| Tabla 37-3: Tabla ANOVA para biodegradabilidad % (Ambiente) por tratamientos | 54 |
| Tabla 38-3: Insumos en la producción de almidón de camote..... | 55 |
| Tabla 39-3: Insumos en la producción de óxido de grafeno | 56 |
| Tabla 40-3: Factibilidad económica..... | 56 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-2: Estructura química de la amilosa | 10 |
| Figura 2-2: Segmento de una molécula de amilopectina | 11 |
| Figura 3-2: Modelo de la estrucutra de óxido de grafeno | 11 |
| Figura 4-2: Síntesis del óxido de grafeno a partir del óxido de grafito | 13 |
| Figura 5-3: Absorbancia del óxido de grafeno | 35 |
| Figura 6-3: Absorbancia del óxido de grafeno | 36 |
| Figura 7-3: IR del óxido de grafeno..... | 37 |
| Figura 8-3: Dispersión por código de nivel | 42 |
| Figura 9-3: ANOVA gráfico..... | 42 |
| Figura 10-3: Medias por cada tratamiento | 43 |
| Figura 11-3: Dispersión por tratamiento..... | 49 |
| Figura 12-3: ANOVA cada tratamiento..... | 50 |
| Figura 13-3: Medias por cada tratamiento | 50 |
| Figura 14-3: Dispersión por código de nivel en medio ambiente | 54 |
| Figura 15-3: ANOVA biodegradabilidad medio ambiente..... | 55 |
| Figura 16-3: Medias biodegradabilidad medio ambiente | 55 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Diagrama de flujo de extracción de almidón por vía húmeda

Gráfico 2-2: Diagrama de flujo de la obtención de óxido de grafeno

Gráfico 3-2: Diagrama de flujo de la obtención de plástico biodegradable

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1-2: Índice de solubilidad en agua (ISA) | 22 |
| Ecuación 2-2: Porcentaje de cenizas | 23 |
| Ecuación 3-2: Porcentaje de solubilidad | 28 |
| Ecuación 4-2: Permeabilidad de vapor de agua del bioplástico | 28 |
| Ecuación 5-2: Rendimiento del proceso de degradación | 29 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CAMOTE POR VÍA HÚMEDA

ANEXO B: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CAMOTE POR VÍA HÑUMEDA

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA

ANEXO E: OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO

ANEXO F: ELABORACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

ANEXO H: CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

ANEXO I: PRUEBAS DE TRACCIÓN

RESUMEN

En el presente trabajo de integración curricular se realizaron pruebas fisicoquímicas y microbiológicas tanto para el almidón como la materia prima, de los cuales se obtuvieron resultados de pH de 6,69 y 6,13; los valores de viscosidad obtenidos fueron de 1476,33 y 48,97 cP (centipoises); para ceniza de 0,1197% y 2,375%, para el ensayo de solubilidad 8,567 y 28,984 respectivamente y, por último, la temperatura de gelatinización para el almidón fue de 67,67 °C. Mediante experimentación y análisis estadístico de los resultados obtenidos se definió la formulación óptima para producir bioplástico a partir del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno con las siguientes características: almidón 2 g; glicerina 1,2 g y óxido de grafeno 0,8 ml. Estas láminas de plástico biodegradable obtenidas mediante su caracterización en base a las normas INEN 2635 y ASTM D1653-93 en cuanto a permeabilidad dio un valor de 4,6269 mm g/m²h como valor máximo. Para las mejoras mecánicas del bioplástico con el óxido de grafeno se validó que hubo esfuerzo máximo de 0,79 Mpa (Megapascuales), mientras que en el trabajo sin óxido de grafeno indica un 0,72 Mpa, por lo cual existió una ligera diferencia del uno con el otro. La factibilidad económica para reemplazar a los plásticos derivados del petróleo por bioplásticos para producir un metro cuadrado de lámina dio como resultado una inversión de \$1,67 mientras que en derivados del petróleo oscila los \$ 8 por m² esto es un indicador de que es factible económicamente. En conclusión, la mejoras que se presentan en todos los aspectos del bioplástico sobre el plástico derivado de petróleo son óptimas y realizables, por lo tanto, se recomienda, aplicar la formulación con oxido de grafeno si se decide realizar bioplástico para remplazar al plástico tradicional.

Palabras clave: <BIOPLÁSTICO>, <CAMOTE (*Ipomoea batatas*)>, <ALMIDÓN>, <BIODEGRADABLE>, <LÁMINAS>, <GRAFENO>



1822-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

In this curricular integration work, physicochemical and microbiological tests were carried out for both starch and raw material, from which results were obtained for pH of 6.69 and 6.13; the viscosity values obtained were 1476.33 and 48.97 cP (centipoises); for ash of 0.1197% and 2.375%, for the solubility test 8.567 and 28.984 respectively and, finally, the gelatinization temperature for starch was 67.67 °C. Through experimentation and statistical analysis of the results obtained, an optimal formulation was defined to produce bioplastic from sweet potato starch and the addition of graphene oxide with the following characteristics: starch 2 g; glycerin 1.2 g and graphene oxide 0.8 ml. These biodegradable plastic sheets obtained through their characterization based on INEN 2635 and ASTM D1653-93 standards in terms of permeability gave a value of 4.6269 mm g/m²h as a maximum value. For the mechanical improvements of the bioplastic with graphene oxide, it was valued that there was a maximum stress of 0.79 Mpa (Megapascals), while the work without graphene oxide indicated 0.72 Mpa, so there was a slight difference from one to the other. The economic feasibility of replacing petroleum-derived plastics with bioplastics to produce one square meter of sheet resulted in an investment of \$1.67, while in petroleum byproducts it oscillates around \$8 per square meter, which is an indicator that it is economically feasible. In conclusion, the improvements that are presented in all aspects of bioplastic over petroleum-derived plastic are optimal and feasible. Therefore, it is recommended to apply the formulation with graphene oxide if it is decided to make bioplastic replace traditional plastic.

Keywords: <BIOPLASTIC>, <SWEET POTATO (Ipomoea batatas)>, <STARCH>, <BIODEGRADABLE>, <SHEET>, <GRAPHENE>.

ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
Firmado digitalmente por ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.10.17 01:12:03 -05'00'

Dra. Ana Gabriela Reinoso Espinoza, Mgtr.

CI: 110369613-2

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son bien conocidos como polímeros sólidos orgánicos amorfos, que se han utilizado como productos diversificados en una amplia variedad de aplicaciones de la vida diaria. Los plásticos han promovido enormemente a la sociedad humana a través de su asombrosa utilidad y en el desarrollo de diversos sectores como la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la economía, etc. Sin embargo, este éxito ha pagado un costo en términos de disminución de los combustibles fósiles y el corolario adverso sobre el medio ambiente natural adhiriéndose a la contaminación debida a los residuos plásticos. Así, se deriva una emergencia para hacer uso de los plásticos eco-amigables.

De forma general los bioplásticos se dividen en tres categorías como son bioplásticos hechos de materiales orgánicos por ejemplo de almidón de maíz y fuentes de biomasa que incluyen grasas vegetales, tapioca y leche, otro tipo de plástico biodegradable es hecho de petroquímicos tradicionales, que contienen aditivos que hace que se descomponga más rápido en presencia de luz solar y oxígeno, plásticos hechos a partir del reciclaje de desechos plásticos.

En la actualidad la utilización de vegetales como fuente principal de obtención de almidón ha venido en crecimiento constante debido a que son fácilmente degradados por microbios como bacterias, hongos y algas, su funcionalidad radica en la disminución del deseo excesivo de polímeros a base de petróleo, también permite un mayor control de la emisión de gases tóxicos, especialmente, monóxido de carbono y dióxido de carbono en el medio ambiente, otra de las ventajas del bioplástico es que se descomponen en entornos aeróbico natural (compostaje) y anaerobio (vertedero) sin generar subproductos venenosos.

Debemos tener en cuenta que no todos los bioplásticos son completamente biodegradables ni se descomponen más rápidamente que los plásticos cuyo origen proviene de combustibles fósiles. Sin embargo, la mayoría de los bioplásticos a base de almidón son más fácilmente degradables que otros. Además, el almidón es una fuente renovable, ampliamente disponible, fácil de manejar y de bajo costo. Así, la mejor opción para producir bioplásticos es el almidón. El almidón es un carbohidrato polimérico que posee una gran cantidad de $C_6H_{12}O_6$ (glucosa) unidades conectadas por enlaces glucosídicos (covalentes) (Rao, Naidu y Tiwari, 2021, pp. 13-16).

De acuerdo con (Parra, 2019, pp. 10-15) el sector agrícola ecuatoriano requiere de ideas que aporten valor agregado a los productos que nuestro país produce. Actualmente la región interandina el uso de las raíces y tubérculos representa una fuente principal en la alimentación e industria ocupando el segundo lugar en área sembrada y volumen de producción mundial con 47523000 hay 556676000 toneladas.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

En la actualidad la contaminación ha ido aumentando al paso de los años, al día de hoy 140 millones de toneladas de plástico se consumen cada año, en todo el mundo, dicho plástico requiere el procesamiento de aproximadamente 150 millones de toneladas de combustibles fósiles y por esta razón, causa que directamente inmensas cantidades de residuos que pueden llevar miles de años para deteriorarse naturalmente, si es que se degrada (Suriyamongkol et al., 2007, pp. 32-33). En consecuencia, los bioplásticos son una alternativa factible, ya que no se basan en recursos fósiles y pueden biodegradarse fácilmente.

El ser humano ha optado por un cambio hacia sistemas de producción sostenibles, ha centrado la atención en los bioplásticos, que pueden ser producidos por muchos microorganismos o también a partir de materias primas renovables (Lee, 2006 p. 22). Los bioplásticos son procesados a partir de componentes naturales, constan de una composición molecular de gran peso, se pueden deteriorar sencillamente en el entorno con compuestos tales como: agua, dióxido de carbono y humus. Hoy en día, a nivel industrial son ampliamente utilizados por sus múltiples ventajas frente a los plásticos derivados del petróleo (Ledesma et al., 2021, p. 65). El almidón ha sido una de las principales materias primas consideradas para tal fin, debido a su alta disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y competitividad económicamente en relación con el petróleo (Chariguamán, 2015 pp. 14-18). El almidón es un polisacárido complejo, que se almacena en forma de gránulos, con diferentes tamaños entre sí, composición química y características físicas, que varían según la fuente de la cual proviene (Arias, 2019 pp. 33-36). El uso como material polimérico, se pueden distinguir dos usos diferentes: como matriz polimérica en forma de almidón termoplástico y como nano carga en forma de nano cristales (Sessini, et al, 2017 pp. 22-25). En consecuencia, el camote (*Ipomoea batatas*) es el protagonista de esta investigación, ya que será una gran fuente para la extracción del almidón.

En cuanto al grafeno se entiende que es un material de estructura nano métrica, bidimensional, de átomos de carbono altamente empaquetados en una estructura bidimensional con forma de panal de abejas y es considerado como la unidad básica de construcción para los demás materiales grafiticos en sus distintas dimensionalidades (Geim y Novoselov, 2018, p. 10). El grafeno se ha incorporado en la industria de los materiales en las matrices poliméricas, con el fin de mejorar las

propiedades mecánicas como es la resistencia a la tracción y de barrera al vapor de agua y gases. El aspecto positivo es que con bajas cargas se pueden lograr una mejora sustancial en las propiedades de un material polimérico (Kim, Abdala y MacOsco, 2010, p. 26).

1.2. Justificación de la Investigación

No existe alguien que produzca algo y que no se haya imaginado en los desechos y residuos que su hallazgo podría llegar a generar. Los desechos en el medio ambiente han tenido un impacto tan grande que cualquier acumulación, manifestación de objetos arrojados en vertederos, caminos y calles se los denomina contaminación (Perdomo, 2002 pp. 20-22).

Los microorganismos conocen muy bien a las sustancias macromoleculares que son de origen natural, y estos dan cuenta de ellas una vez que cumplieron su propósito en el ecosistema. El proceso de degradación de un árbol, la seda, el algodón, los tejidos toma su tiempo, lo suficiente como para que el ambiente se limpie y los residuos sean incorporados en un ciclo para que la vida continúe. Con el plástico es algo que no sucede, ya que una vez se le ha dado uso, se lo tira al vertedero de desechos y allí pernochará por un largo periodo de tiempo, se cree que este no se deteriorará por mucho más de seis mil años (Perdomo, 2002 pp. 28-32). Por este motivo se estudia nuevas maneras para sustituir estas sustancias macromoleculares que son los principales contaminantes y que perduran por un largo periodo de tiempo, así nace la producción de bioplástico a partir del almidón, y para tener un bioplástico mucho más amigable con el medio ambiente y que tenga un deterioro y a porte al ecosistema, las propiedades mecánicas que se buscan son: resistencia, rigidez, dureza, tenacidad.

En cuanto al uso del grafeno, es un material con características excepcionales entre las cuales se pueden mencionar las propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas, y también se puede mencionar la baja permeabilidad a gases (Bher, 2019 pp. 54-56).

Por eso se considera necesario el estudio de las propiedades mecánicas que se puedan obtener del bioplástico proveniente del camote (*Ipomoea Batatas*) y el empleo del grafeno en una estructura polimérica resultante de estos dos agregados ya mencionados.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar la incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de camote (*Ipomoea Batatas*).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del camote y el almidón extraído del mismo.
- Definir la formulación óptima para producir bioplástico a partir del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno.
- Validar las láminas de plástico biodegradable obtenidas mediante su caracterización en base a las normas INEN 2635 (Método de Ensayo para las propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas) ASTM D1653-93 (Método de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de películas de revestimiento orgánicas).
- Establecer las mejoras mecánicas conseguidas del bioplástico con el óxido de grafeno comparando con estudios anteriores.
- Evaluar la factibilidad económica para reemplazar a los plásticos derivados del petróleo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

El término “plástico” hace referencia a un grupo distinguido de tipos de materiales sintéticos que son obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos. Es decir, son derivados del petróleo, existen algunos casos en los que se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales.

Existen algunas razones del porque estos compuestos son muy usados en la industria y en la vida cotidiana, y es por algunas propiedades que los han hecho tan ampliamente utilizados, dichas propiedades son: la destreza con que pueden ser trabajados o moldeados, su impermeabilidad, su bajo peso con la relación al volumen (baja densidad), su baja conductividad eléctrica, su resistencia a la corrosión, exposición a la intemperie; su resistencia a diversos factores químicos y biológicos, por último y no menos importante, el bajo costo de producción. No obstante, estas propiedades, son favorables desde el punto de vista de las aplicaciones que los plásticos pueden tener, pero la desventaja radica que han resultado con demasiados inconvenientes para el manejo de los desechos que se generan con el uso creciente de estos materiales (Segura, 2015, p. 42).

Los plásticos que son derivados del petróleo se degradan en un periodo que data alrededor de los 180 años, los cuales son empleados por las industrias, en la vida cotidiana son productos con una limitada capacidad de autodestrucción como también de la reutilización, por ende, duran por muchos años como residuos contaminantes (López, Pomaquero y López, 2020, p. 8).

Se han realizados varios estudios relacionados a la obtención de bioplástico a partir de almidón que presenten característica iguales o similares a sus homólogos sintéticos algunos de ellos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Estudios realizados sobre la obtención y estudio de plásticos biodegradables como antecedentes para la investigación

| N° | Año | Nombre de la investigación | Autor(es) | Lugar |
|----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | 2013 | Plásticos en la agricultura: beneficio y costo ambiental: una revisión | Ingeborg Zenner de Polanía, Fernando Peña Baracaldo | Colombia |
| 2 | 2014 | Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico | Javier López Giraldo, Julio Cesar Cuarán Cuarán, Laura Viviana Arenas García, Luz Marina Flórez Pardo | Ecuador |
| 3 | 2015 | Bioplástico a base de la cáscara del plátano | Ruth Castillo, Eliasury Escobar, Dianeth Fernández, Ramón Gutiérrez, Jonathan Morcillo, Neryana Núñez, Sandra Peñaloza | Panamá |
| 4 | 2018 | Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango | Ivanova Ruiloba, Meilyn Li, Rosa Quintero, Jhonny Correa | Panamá |
| 5 | 2019 | Elaboración de bioplástico y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio | Paola Meza Ramos, Lawrence Quipuzco Ushñahua, Victor Meza Contraras | Perú |
| 6 | 2019 | Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) y de camote (<i>ipomoea batatas</i>) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo | Joselyne Brigitte Parra Pérez | Ecuador |
| 8 | 2020 | Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba | José Fernando López-Aguirre, Juan Carlos Pomaquero-Yuquilema, José Luis López-Salazar | Ecuador |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

La mayoría de las investigaciones de la tabla anterior concluyen que la obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón presenta un gran rendimiento, la amilasa presente en el almidón genera fuerzas polares que mejoran las propiedades mecánicas y de barrera de las películas biodegradables. La utilización de estas nuevas alternativas biodegradables a partir de materia orgánica va a reducir considerablemente la contaminación del planeta.

2.2. Marco Conceptual o Glosario

2.2.1. *Tubérculos*

Los tubérculos son la parte de un tallo subterráneo, o una raíz, que se ensancha considerablemente, en la estructura de sus células acumula una gran cantidad de sustancias de reserva y él es aquel que tiene como función almacenar dichas sustancias alimenticias para la nutrición de la planta (Oblaré, 2018 pp. 27-30).

2.2.2. *Camote (Ipomoea batatas)*

El camote cuyo nombre científico es *Ipomoea batatas L.*, es un tubérculo que se cultiva alrededor del mundo, la producción mundial estimada es de 150 millones de toneladas según Basurto, et al, (2015). Estos tubérculos son también conocidos como plantas perennes y se desarrollan por medio de fragmentos de guía con una longitud de 30-40 cm, de los cuales se plantan sus 2/3 partes y son capaces de extenderse de manera horizontal en el suelo formando un follaje de poca altura (Conabio, 2009 pp. 12-15).

Entre otras características que se puede resaltar del camote, es un tubérculo nativo de la región, también tiene una diversidad de usos en la industria alimentaria, en otras industrias es la base para la producción de alcohol, harinas, entre otros y es una fuente rica en almidón.

2.2.3. *Morfología de la planta*

2.2.3.1. *Hojas*

Sus hojas son de estructura simple, tienen una intersección aislada sobre su tallo, por lo general son de forma ovalada, su longitud va de un rango de 4 a 20 cm y el color que presentan es semejante al tallo.

2.2.3.2. *Tallo*

Para el tallo se tiene una gran variedad de ellos, se encuentran como guías o tallos muy cortos, de tipo arbustivo erecto, en cultivos enanos la longitud que toman puede ser de 10 a 30 cm, y para los cultivos comunes pueden llegar a los 6 m, el espesor que suelen presentar varía entre 4 y 6 mm. presenta poca ramificación, por lo general su coloración es de color verde, pero existen de colores rojizos o una combinación de colores.

2.2.3.3. *Parte tuberosa*

El camote se origina en los nudos que presenta el tallo los cuales están bajo tierra, estos llegan a medir 30 cm de longitud y con un diámetro de 20 cm. Por lo general su forma es esferoidal, elipsoide, ovoidea más o menos irregular, en la coloración depende mucho a la variedad que pertenecen y se tiene de color blanco, bronceado, rosado, rojo, morado o combinación de colores.

2.2.4. *Taxonomía*

Tabla 2-2: Taxonomía del camote (*Ipomoea batatas*)

| N° | Reino | <i>Plantae</i> |
|----|-------------------|-----------------------------------|
| 1 | Subreino | <i>Tracheobionta</i> |
| 2 | División | <i>Maganoliophyta</i> |
| 3 | Clase | <i>Magnoliopsida</i> |
| 4 | Subclase | <i>Asteridae</i> |
| 5 | Orden | <i>Solanales</i> |
| 6 | Familia | <i>Convolvulaceae</i> |
| 7 | Subfamilia | <i>Ipomoeae</i> |
| 8 | Género | <i>Ipomoea</i> |
| 9 | Especie | <i>I. Batatas</i> |
| 10 | Nombre Científico | <i>Ipomoea batatas</i> |
| 11 | Nombre Común | <i>Camote, batata, papa dulce</i> |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

Fuente: (Folquer, 1978, p. 22).

2.2.5. *Suelo*

El camote se produce y crece en cualquier tipo de suelo, en los suelos arenosos se cosechan camotes de la mejor calidad también es el caso de los suelos arcillosos en los cuales se producen tubérculos con superficies rugosas y malformaciones, este tipo de planta tolera variaciones de acides, el rango de pH es de 4,5 a 7,5, pero los niveles óptimos son entre 5,6 y 6,5.

2.2.6. *Clima*

Esta planta es de origen tropical, es sensible a temperaturas que estén por debajo de los 0 °C. Para un crecimiento óptimo se requieren temperaturas por encima de los 22 °C. Otros factores importantes a tomar en cuenta es la luminosidad, fotoperiodo largo y altas temperaturas.

2.2.7. Bioplástico

El bioplástico o películas plásticas, son usadas para sustituir a los plásticos derivados del petróleo, su tiempo de degradación es considerablemente menor a los que conocemos o a los que usamos diariamente. Están formados por sustancias orgánicas como almidones y también de plastificantes los cuales interactúan entre sí para dar un aspecto similar a los plásticos comerciales. Las principales áreas de aplicación se encuentran en la industria del embalaje, seguida de la industria textil, la industria del automóvil y la construcción.

Los plásticos de base biológica se clasifican además en tres categorías: polímeros naturales modificados, polímeros de base biológica sintetizados a partir de monómeros de base biológica sintetizados y bioplásticos de residuos (Zeller et al., 2013, pp. 11-12).

2.2.8. Polisacáridos

Se usan para la producción de alimentos como estabilizante, gelificante, espesante y como formadores de películas destinadas a consumo. Se obtienen de los vegetales como son la celulosa y el almidón; para el caso de los polisacáridos obtenidos de algas están los alginatos, las carrageninas y el agar; y de los macroorganismos incluyen el dextrano y la goma, entre otros (Parra, 2019, p. 20).

2.2.9. Almidón

El almidón es considerado quizás como el polímero natural más importante que existe y una de las fuentes de energía que se obtiene de distintas plantas, este polímero se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, puede ser extraído de varias fuentes como son las raíces, tubérculos, frutas, semillas, cereales, etc. (Aristizábal, et al, 2007, pp. 33-34). Los porcentajes en los que se encuentra en cereales oscilan entre 30% al 80%, en las leguminosas en porcentajes de un 25% a 50% y en los tubérculos en porcentajes entre el 60% y 90%.

El comportamiento del almidón es influenciado por la relación que existe entre amilosa de 20% a 39% y amilopectina 61% a 80% siendo además el polisacárido más utilizado en la industria alimenticia por su costo relativamente bajo y su gran versatilidad (Hernández, 2013, pp. 21-24).

2.2.10. Estructura química del almidón

El almidón está formado por unidades de glucosa y dos estructuras poliméricas diferentes: amilosa y amilopectina; su proporción varía de un tipo a otro según sea su fuente. Cerca del 20 % de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80 % amilopectina (Ruiz Avilés, 2006, p. 15).

2.2.10.1. Amilosa

La amilosa presenta una estructura en las capas interiores, tiene moléculas que están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glicosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice. No obstante, muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α -D-(1,6) y esto oscila entre el 0,3 a 0,5% del total de los enlaces (Ruiz Avilés, 2006, p. 17). En la siguiente figura se observa lo descrito anteriormente.

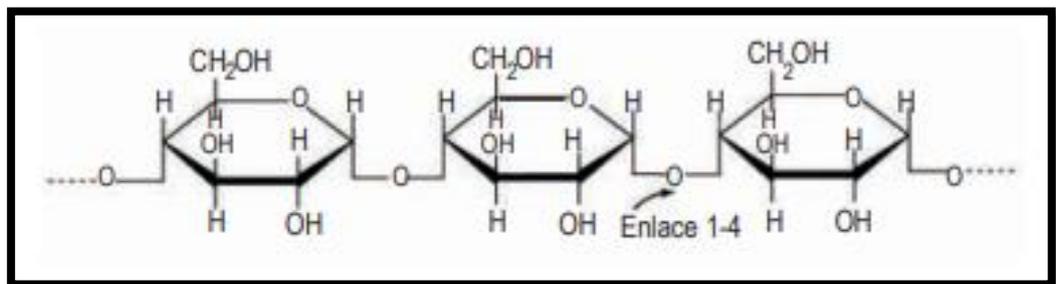


Figura 1-2: Estructura química de la amilosa

Fuente: (Aristizábal, y otros, 2007 p. 59).

2.2.10.2. Amilopectina

La amilopectina presenta una estructura situada en las capas exteriores, es distinta a la de la amilosa. En cuanto a sus moléculas, estas contienen enlaces glicosídicos α -1,4 y α -1,6. Estos enlaces son aquellos causantes que se unan las moléculas de glucosa en la cadena principal de amilopectina. Generalmente se encuentran ramificaciones de la cadena principal, y esto se debe a los enlaces glicosídicos α -1,6 con otras moléculas de glucosa y estos puntos de enlace representan el 4 y 5% del total de enlaces (Wrolstad, 2013, p. 15). En la figura a continuación se pueden observar lo descrito anteriormente.

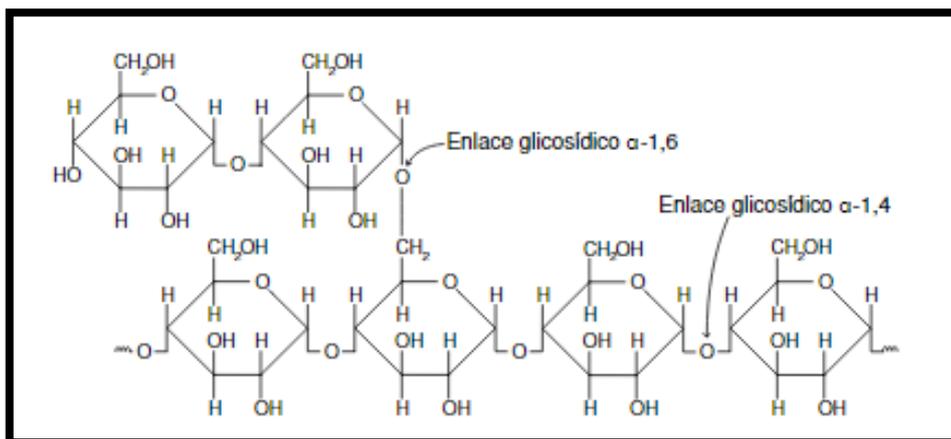


Figura 2-2: Segmento de una molécula de amilopectina

Fuente: (Ruiz Avilés, 2006,p. 8).

2.2.11. Óxido de Grafeno

El óxido de grafeno es un compuesto no estequiométrico que consiste en una red de átomos de carbono sp^2 similar a la del grafeno, pero que incluye grupos funcionales intercalados que contienen oxígeno. La técnica de obtención de GO más utilizada es la oxidación de grafito con agentes oxidantes fuertes. Actualmente, los tres métodos principales para la oxidación son el propuesto por Staudenmaier, (1898) el propuesto por Hummers, et al., (1958) y más recientemente. el método propuesto por Tour Marcano, et al., (2010).

La estructura del GO contiene grupos que se disponen en los planos y en los bordes de las capas, generando un material más aislante que el grafeno (Colom, et al., 2020, p. 21).

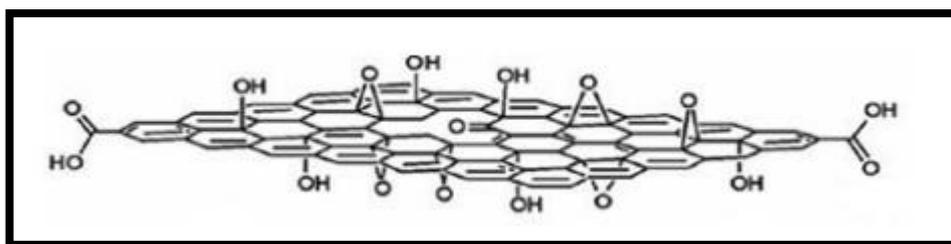


Figura 3-2: Modelo de la estructura de óxido de grafeno

Fuente: (Aguirre-Yague, et al., 2015, p. 16).

2.2.11.1. Producción de óxido de grafeno

La producción de grafeno sigue dos tendencias, la más conocida como “Bottom-up” o desde abajo hacia arriba, la cual explica que el grafeno puede ser sintetizado a partir de varias técnicas. Existen distintas técnicas como la deposición química por vapor a partir de hidrocarburos sobre substratos

de metal, arco descarga, crecimiento epitaxial sobre carburo de silicio (SiC), por descomposición térmica de SiC, conversión química, reducción de monóxido de carbono (CO), por corte y desenrollamiento de las capas de nanotubos de carbono, entre otros.

Estas técnicas de producción, generalmente, son adecuadas para aplicaciones en el área electrónica donde los requerimientos, en términos de cantidad de grafeno, no es tan importante como en el caso de las aplicaciones en el área de polímeros.

Por otra parte, se tiene la otra tendencia para la producción de grafeno se conoce como “Top-down” o también denominada de arriba hacia abajo. Para este caso, el grafeno es producido por separación o exfoliación, a partir del grafito o grafito oxidado. Técnicas generalmente aplicadas para producción de grafeno a mayor escala. Dentro de este grupo podemos citar las técnicas de exfoliación mecánica, sonicación directa, disolución de grafito en ácido, exfoliación electroquímica, exfoliación y reducción de óxido de grafito, reducción química del óxido de grafeno orgánicamente tratado y exfoliación térmica y reducción. Las complicaciones de muchas técnicas son debido a la naturaleza y costo de las sustancias químicas necesarias para la obtención de grafeno (Bher, 2019, pp. 33-34).

2.2.11.2. Método de extracción de óxido de grafeno

El método de Hummers es el más utilizado en la actualidad ya que consiste en la adicción lenta de permanganato de potasio (KMnO_4). También se tiene los métodos creados por Brodie y Staudenmaier involucran la añadidura de otros agentes oxidante como son el clorato de potasio (KClO_3) en un medio de ácido nítrico (HNO_3) (Farías, et al., 2021, pp. 42-44).

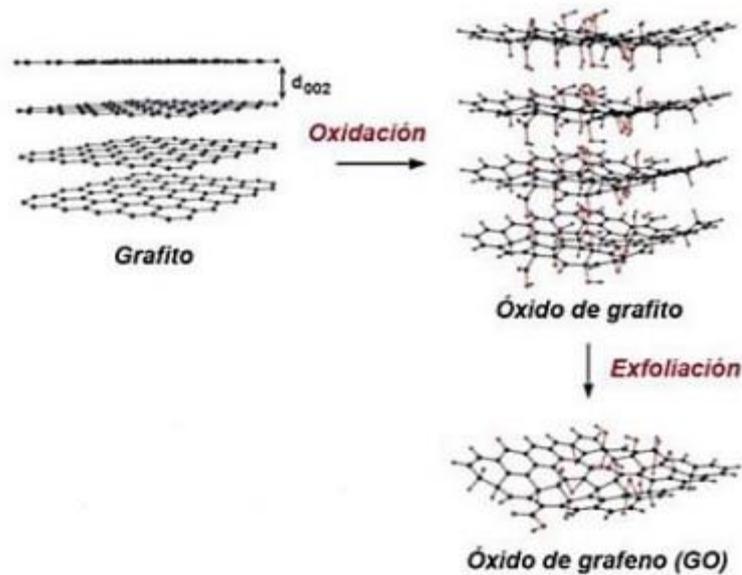


Figura 4-2: Síntesis del óxido de grafeno a partir del óxido de grafito

Fuente: (Farías, et al, 2021, p. 3).

2.2.12. Glicerol

Según (Parra, 2019, pp. 20-32) es un trihidroxialcohol higroscópico almibarado que se utiliza para la saponificación de grasas y aceites naturales, la presencia de sus tres grupos alcohólicos le permiten tener la propiedad de solubilidad en el agua, y este componente retarda la degradación de los termoplásticos, Es una sustancia que actúa como plastificante y tiene una densidad mayor a la del agua, es un compuesto que dará elasticidad al bioplástico resultante.

2.3. Hipótesis General

Reemplazando el ácido acético por el óxido de grafeno se espera estudiar las propiedades mecánicas que puede aportar al bioplástico proveniente del almidón de camote.

2.4. Hipótesis Específicas

- Realizando análisis de laboratorio se identificarán mediante la experimentación las características fisicoquímicas y microbiológicas del almidón que se extraerá del camote.
- Mediante la experimentación se determinará la formulación óptima para producir bioplástico a partir del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno.
- Una vez sintetizadas las láminas de plástico biodegradable, se validarán los plásticos obtenidos mediante la caracterización en base a la norma INEN 2635.

- Se establecerá si se darán mejoras en el bioplástico obtenido y los parámetros: módulo de elasticidad, esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia.

2.5. Identificación de Variables

Tabla 3-2: Identificación de variables

| N° | Proceso | VARIABLES INDEPENDIENTES | VARIABLES DEPENDIENTES |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | Extracción del almidón | Peso materia prima | Volumen de agua destilada |
| | | | Cantidad de materia prima |
| 2 | Tamizado | Rendimiento | Contenido de amilosa |
| | | | pH |
| | | | Solubilidad |
| | | | Ceniza |
| | | | Humedad |
| | | | Temperatura de gelatinización |
| 3 | Obtención de bioplástico | Temperatura | Densidad |
| | | | Tiempo de secado |
| | | | Concentración de reactivos |
| | | | Solubilidad |
| | | | Absorción de humedad |
| | | | Máximo esfuerzo |
| | | | Elongación |
| Adición de óxido de grafeno | | | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.6. Operacionalización de Variables

Tabla 4-2: Operacionalización de variables

| Categoría | Concepto | Dimensiones | Variables | Indicadores | Índice | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------|
| Incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de camote (<i>Ipomoea Batatas</i>) | Falla por desgarramiento: falla producida mediante la tracción, se caracteriza por la fractura que inicia en un borde la probeta y que avanza a través de esta a una velocidad lo suficientemente lenta para producir una curva anómala de carga-deformación. | Obtener almidón de camote (<i>ipomoea batatas</i>) | Humedad | % | (ISI, 1999, p. 78) | |
| | | Determinar el porcentaje de rendimiento de los almidones extraídos | Peso del almidón obtenido | g | | |
| | | | Rendimiento amilosa | % | | |
| | | Realizar la caracterización fisicoquímica del almidón de camote | pH | | | |
| | | | Solubilidad | % | (Anderson, et al, 1969, pp. 66-68) | |
| | | | Ceniza | % | (AOAC, 2000 pp. 44-47) | |
| | | | Humedad | °K | Métodos físicos | |
| | | | Temperatura de gelatinización | °K | (Grace, 1977 pp. 33-34) | |
| | | Obtener el bioplástico resultante a nivel de laboratorio a partir del almidón de camote | Viscosidad | cP | (ISI, 2002, p. 67) | |
| | | | Validar los distintos plásticos obtenidos mediante su caracterización en base a la normativa establecida | Composición de los reactivos | Kg | NTE INEN 2635 |
| | | | | Temperatura | °K | |
| | | Tiempo de secado | | s | | |
| | | Adición de óxido de grafeno | Propiedades de tracción | Kg/cm2 | ASTM D882 | |
| | | | Humedad y solubilidad | | ASTM D882-93 | |
| | | | Biodegradabilidad | % | Métodos físicos | |
| | | | | Propiedades de tracción | | |
| | | Biodegradabilidad | | | | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.7. Matriz de Consistencia

Tabla 5-2: Matriz de consistencia

| Aspectos Generales | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Problema General | | Objetivo General | | Hipótesis General |
| Los plásticos más usados alrededor del mundo son los derivados del petróleo, y estos presentan propiedades muy buenas en las que se incluyen propiedades mecánicas por lo que es necesario implementar una mejora al plástico biodegradable resultante para poder reemplazar por opciones que no represente un mayor problema al medio ambiente. | | Determinar la incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de camote (<i>Ipomoea batatas</i>). | | Reemplazando el ácido acético por el óxido de grafeno se espera estudiar las propiedades mecánicas que puede aportar al bioplástico proveniente del almidón de camote. |
| Aspectos Específicos | | | | |
| Problemas Específicos | Objetivos Específicos | Hipótesis Específicas | Variables | Técnicas |
| Se desconoce si el almidón resultante cumple con los parámetros establecidos por la norma. | Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del camote y del almidón extraído del mismo. | Realizando análisis de laboratorio se identificarán mediante la experimentación las características fisicoquímicas y microbiológicas del almidón que se extraerá del camote. | <ul style="list-style-type: none"> - Humedad - Contenido de amilosa - pH - Solubilidad - Ceniza - Temperatura de gelatinización | <ul style="list-style-type: none"> - NTE INEN 1456 - Métodos físicos |
| Se desconoce la mejor formulación en la cual se coloca la cantidad óptima de óxido de grafeno | Definir la formulación óptima para producir bioplástico a partir del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno. | Mediante la experimentación se determinará la formulación óptima para producir bioplástico a partir del almidón de camote y la adición de óxido de | - Porcentaje de óxido de grafeno | - Totalmente al azar |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | | grafeno. | | |
| ¿Habrá una mejora significativa para poder tener mejores propiedades mecánicas con el reemplazando del ácido acético por el óxido de grafeno? | Validar las láminas de plástico biodegradable obtenidas mediante su caracterización en base a la norma INEN 2635 (Método de Ensayo para las propiedades de tracción de Láminas Plásticas Delgadas) | Una vez sintetizadas las láminas de plástico biodegradable, se validarán los plásticos obtenidos mediante la caracterización en base a la norma INEN 2635. | - Propiedades de tracción | - NTE INEN 2635 |
| ¿Mejorará o debilitará el óxido de grafeno las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable? | Establecer las mejoras mecánicas conseguidas del bioplástico con el óxido de grafeno comparando con estudios anteriores. | Se establecerá si se darán mejoras en el bioplástico obtenido y los parámetros: módulo de elasticidad, esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia. | - Esfuerzo máximo - Esfuerzo de fluencia | - Ensayos de laboratorio - Métodos físicos |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.8. Tipo y Diseño de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, en la cual se desea determinar la composición adecuada de óxido de grafeno para mejorar las propiedades mecánicas de los plásticos degradables resultantes a partir del almidón extraído del camote, además de identificar las características de calidad para ello se estudiaron diferentes investigaciones existentes para analizar los métodos descritos en cada una de ellas y guiarnos en la realización de este proyecto de tesis.

El presente proyecto de tesis es de tipo cualitativo y cuantitativo, se realizarán análisis de laboratorio y ensayos para la elaboración de láminas de plástico biodegradable con la adición del óxido de grafeno para el mejoramiento de las propiedades de tracción, los cuales servirán como resultados y permitirán establecer variables de procesamiento.

2.9. Unidad de Análisis

El objetivo principal de estudio es la incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de camote (*Ipomoea Batatas*) por lo cual variarán cinco diferentes composiciones de óxido de grafeno para buscar el mejoramiento de las propiedades mecánicas que las láminas de plástico biodegradable resultante puedan adquirir, mediante una evaluación preliminar se seleccionara los resultados con mejores características , a estos se realizarán pruebas para determinar las propiedades de tracción en base a la norma NTE INEN 2635 y posteriormente se ejecutarán pruebas de biodegradabilidad por medio de métodos físicos.

2.10. Población de Estudio

La población de estudio corresponde a la obtención de láminas de plástico biodegradable de la mejor formulación encontrada en el proyecto de integración curricular “OBTENCIÓN DE BIOFILM A PARTIR DEL ALMIDÓN DE ZANAHORIA BLANCA (*Arracacia xanthorrhiza*) Y DE CAMOTE (*Ipomoea batatas*) COMO ALTERNATIVA AL USO DE MATERIAL PLÁSTICO DERIVADO DE PETRÓLEO” siendo aquellas muestras con mejores propiedades de tracción según la norma NTE INEN 2635 elaborado mediante ensayos de laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba.

2.11. Tamaño de Muestra

Se probará distintas concentraciones de óxido de grafeno que se agregará al bioplástico proveniente del almidón de camote extraído con la mejor formulación encontrada en estudios.

Tabla 6-2: Formulación para la obtención de láminas de plásticos biodegradable del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno

| N° | Composición de almidón, glicerina y agua | Volumen de óxido de grafeno (mL) | Resultante de bioplástico |
|----|------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1 | Z | 0,2 | TA |
| 2 | | 0,4 | TB |
| 3 | | 0,6 | TC |
| 4 | | 0,8 | TD |
| 5 | | 1 | TE |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.12. Selección de muestra

La selección de las láminas de plástico resultantes a partir del almidón camote (*Ipomoea batatas*) más la adición de la concentración de óxido de grafeno, todo esto se realizará en la región sierra tomando en cuenta las variables para validar la cantidad de óxido de grafeno idóneo para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable resultante, las variables serán las siguientes:

- Propiedades de tracción
- Permeabilidad al vapor
- Humedad
- Solubilidad en agua
- Biodegradabilidad

2.13. Técnicas de Recolección de Datos

2.13.1. Extracción de almidón de camote

2.13.1.1. Técnica de extracción de almidón

Tabla 7-2: Técnica de extracción de almidón de camote

| N ^o | Método | Materiales y Equipos | Reactivo | Procedimiento | Método de Ensayo |
|----------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1 | Vía húmeda | <ul style="list-style-type: none"> • Licuadora • Cuchillos • Balanza • Probetas • Espátula • Vidrio reloj • Cronómetro • Recipiente de vidrio • Recipientes de plástico • Tela filtrante • Secador de bandejas eléctrica tipo armario • Papel aluminio • Guantes aislantes • Fundas ziploc • Mortero y pistilo | <ul style="list-style-type: none"> • Agua • Camote • Agua destilada • Metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) | <ul style="list-style-type: none"> • Lavar, pelar, y picar en pequeños trozos del tubérculo. • Sumergirlos en solución al 0,5% de agua destilada y metabisulfito de sodio por 15 minutos aproximadamente. • Retirar los trozos de materia prima de la solución y licuar junto con agua destilada, por cada 0,5Kg de materia prima 1L de agua destilada. • Filtrar para separar la pulpa de la materia prima y así obtener una suspensión. • Dejar reposar 8 horas para que se forme un sedimento. • Retirar el exceso de agua clarificada. • Secar el sedimento a una temperatura de 60°C, distribuir en las bandejas procurando que sea de forma homogénea, utilizar el número de bandejas necesarias. | (Parra, 2019, p. 24) |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

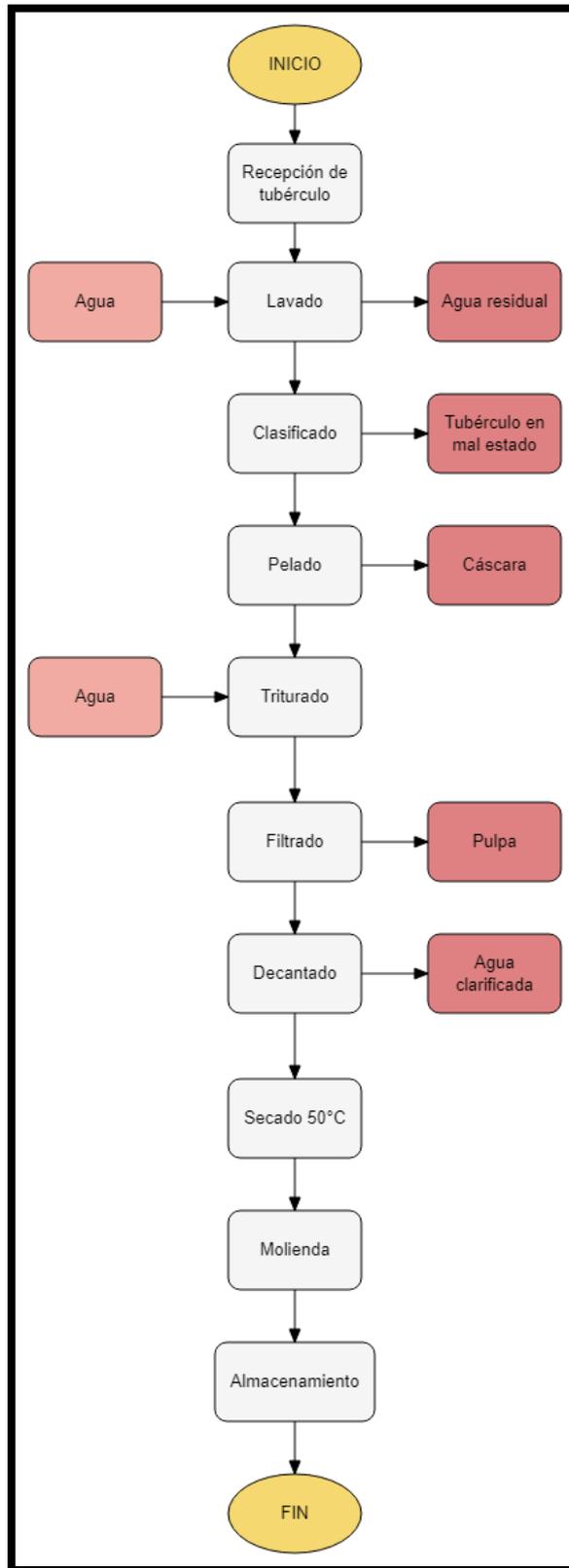


Gráfico 1-2: Diagrama de flujo de extracción de almidón por vía húmeda

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.13.1.2. Análisis para realizar la caracterización del almidón de camote

Tabla 8-2: Ensayos para realizar la caracterización del almidón de camote

| N ^o | Análisis | Reactivos, Materiales y Equipos | Procedimiento | Fórmula para el cálculo | Método de Ensayo |
|----------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Solubilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • Centrífuga • Tubos de centrifuga de 50 mL • Vasos de precipitación • Estufa • Almidón de camote • Camote | <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 1,25 g de almidón y agregar 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse). • Coloca en baño María a 60°C durante 30 min, agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. • Centrifugar a temperatura ambiente a 4900 RPM durante 30 minutos. • Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar y medir el volumen. • Secar el sobrenadante en la estufa a 70°C durante toda la noche. • Pesar el tubo de centrifuga con el gel. • Pesar el vaso de precipitación con los insolubles. | <p>Ecuación 1-2: Índice de solubilidad en agua (ISA)</p> $ISA = \frac{Ps \times V \times 10}{Pm}$ <p>Donde: Ps: Peso de solubles (g) V: volumen obtenido Pm: Peso de la muestra (g)</p> | (Anderson, et al, 1969, pp. 76-77) |
| 2 | pH | <ul style="list-style-type: none"> • pH-metro normalizado a 25 °C • Vaso de precipitación • Termómetro • Solución del ensayo de solubilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Sumergir los electrodos en solución tampón pH 7, 0 y 4,0; ajustar el control a 25°C. • Lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel absorbente. • Sumergir el electrodo en la solución realizada anteriormente. | Medición directa | (ISI, 1999, p. 66) |
| 3 | Temperatura de gelatinización | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Vaso de precipitación • Reverbero • Varilla de agitación | <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 10 g de almidón y adicionar agua destilada, completar hasta 100mL. • Tomar 50mL de esta suspensión y colocarlo a baño María con una temperatura constante de 85°C. • Agitar constantemente hasta la formación de una pasta. • Leer directamente la temperatura de gelatinización del termómetro. | Medición directa | (Grace, 1977 p. 33) |

| | | | | | |
|---|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Almidón de camote • Camote | | | |
| 4 | Viscosidad de Brookfield | <ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación • Varilla de agitación • Reverbero • Viscosímetro de Brookfield • Almidón de camote • Camote | <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 25 g de almidón, disolver en agua destilada y completar a 500 mL • Calentar la suspensión con agitación hasta ebullición • Enfriar el gel hasta 25 °C. • Medir la viscosidad a 25 °C. • Leer directamente la viscosidad del viscosímetro. | Medición directa | (ISI, 2002, p. 75) |
| 5 | Contenido de cenizas | <ul style="list-style-type: none"> • Crisoles • Balanza analítica • Mufla • Deseccador • Almidón de camote • Camote | <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 1 g de almidón en un crisol de porcelana tarado previamente. • Colocar el crisol con la muestra en la mufla a una temperatura de 550 °C durante tres horas, enfriar el crisol y las cenizas en el desecador por veinte minutos. • Pesar el crisol que contiene la ceniza. • Calcular el porcentaje de ceniza mediante el uso de la fórmula. | <p>Ecuación 2-2: Porcentaje de cenizas</p> $\text{Cenizas (\%)} = \frac{P1 \times 100}{P2}$ <p>Donde: P1= peso de las cenizas (g) P2= peso de la muestra (g)</p> | (AOAC, 2000 p. 33) |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.13.1.3. Técnica de extracción de óxido de grafeno

Tabla 9-2: Técnica de obtención de plástico biodegradable

| Método | Materiales y Equipos | Reactivos | Procedimiento | Métodos de Ensayo |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Método de Hummers modificado | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Matraz de fondo redondo con 3 bocas • Bureta de 10 mL • Pipeta de 10 mL • Vasos de precipitación • Vidrio reloj • Termómetro digital y de mercurio • Agitador Magnético con magneto • Balón de aforo de 100 mL • Vidrio pírax • Pera de succión • Soporte universal | <ul style="list-style-type: none"> • Grafito • H₂SO₄ concentrado • KMnO₄ • Agua destilada • H₂O₂ • HCL | <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 3 g de grafito al balón conjunto con los 70 ml de H₂SO₄ • Todo el proceso debe estar bajo vigorosa agitación y añadir lentamente durante 45 minutos los 9 g de Permanganato de Potasio sin que el sistema exceda los 20 °C • Transferir al baño de aceite (precalentado a 50 °C) durante 30 minutos controlando que la temperatura no exceda los 50 °C. • Agregar 150 mL de agua destilada al reactor gota a gota durante 20 minutos, controlando que la temperatura del sistema no exceda los 90 °C. • Posteriormente añadir los 500 mL de agua destilada y consecuentemente los 15 mL de peróxido de hidrógeno gota a gota (notar cambio de color de café oscuro a amarillo). • Centrifugar la solución a 3000 rpm por 10 minutos, lavando una vez con Ácido Clorhídrico en relación 1:10. • Centrifugar la solución haciendo lavados con agua destilada (de 5 a 7) hasta llegar a un pH de 7. • El precipitado es secado en una estufa en los pírax a 80 °C durante 24 horas. • Disolver 1L de agua destilada por cada gramo de material obtenido. • Sonicar la solución durante 1 hora hasta que todo este disuelto • centrifugar la solución por 30 minutos a 1000 rpm, obteniendo una suspensión de óxido de grafeno menos denso que representa el sobrenadante y el óxido de grafito el material que no fue exfoliado. | (Tubon, 2015 pp. 19-22) |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

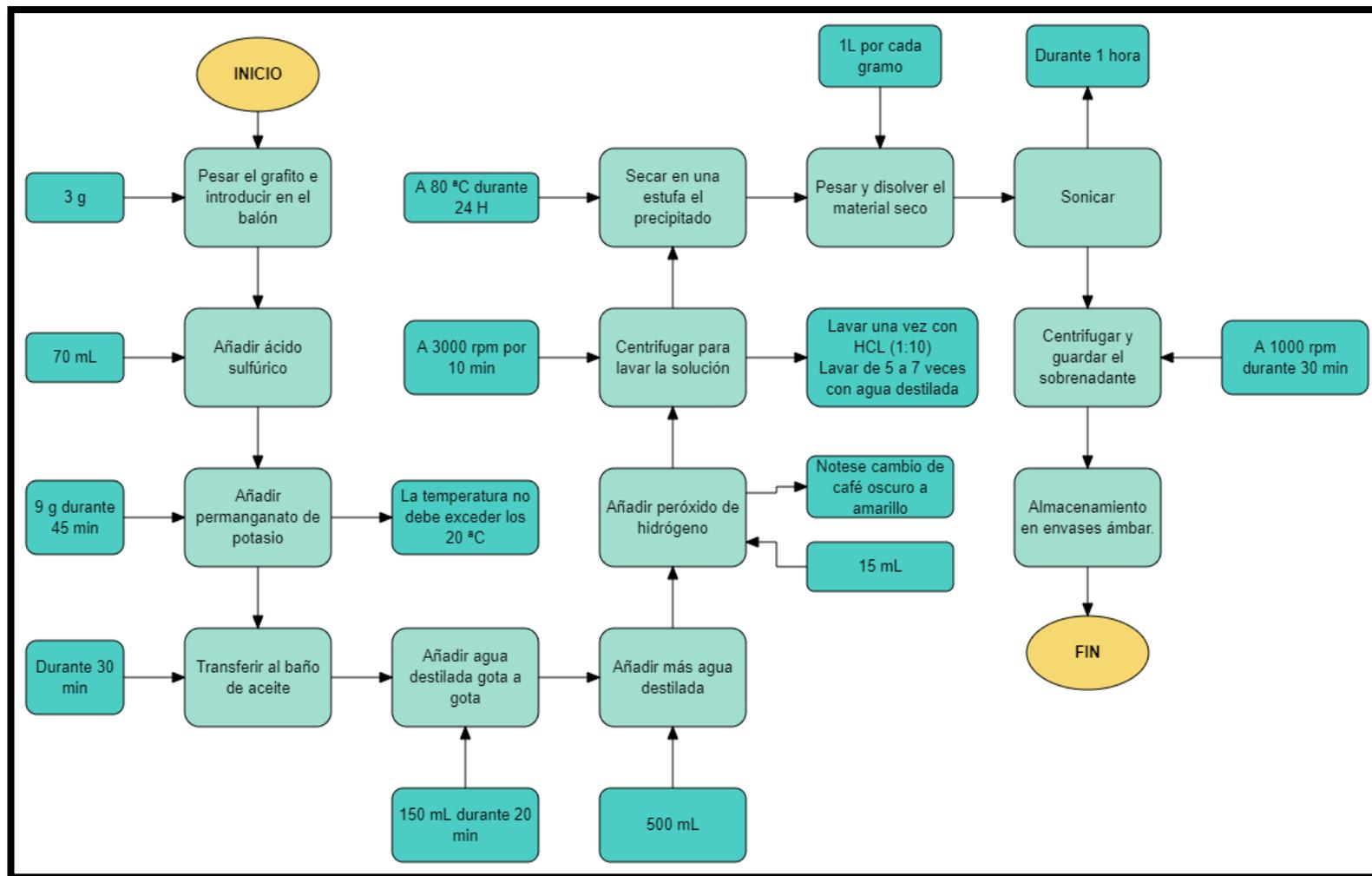


Gráfico 2-2: Diagrama de flujo de la obtención de óxido de grafeno

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.13.1.4. Técnica de obtención de bioplástico

Tabla 10-2: Técnica de obtención de plástico biodegradable

| Método | Materiales y Equipos | Reactivo | Procedimiento | Método de ensayo |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Obtención de plástico biodegradable | <ul style="list-style-type: none"> • Reverbero • Vasos de precipitación • Balanza analítica • Estufa con recirculación de aire • Cajas Petri • Espátula • Probeta graduada • Termómetro • Varilla de agitación • Moldes de vidrio | <ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Óxido de grafeno • Glicerina • Almidón de camote | <ul style="list-style-type: none"> • Pesarse el almidón de camote en base a las formulaciones determinadas. • En un vaso de precipitados, adicionar el almidón con agua destilada y agitar. • Llevar el vaso de precipitados a baño María y calentarlo a 85 °C. • Adicionar glicerina y el óxido de grafeno en base a las formulaciones determinadas, agitar constantemente hasta obtener una mezcla homogénea • Verter la mezcla en cajas Petri y en moldes de vidrio. • Llevar la muestra a la estufa a una temperatura de 75 °C. • Una vez que las muestras estén secas, retirar de las cajas Petri y los moldes de vidrio para posteriormente almacenarlos. | (Charro, 2015 pp. 16-18) |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

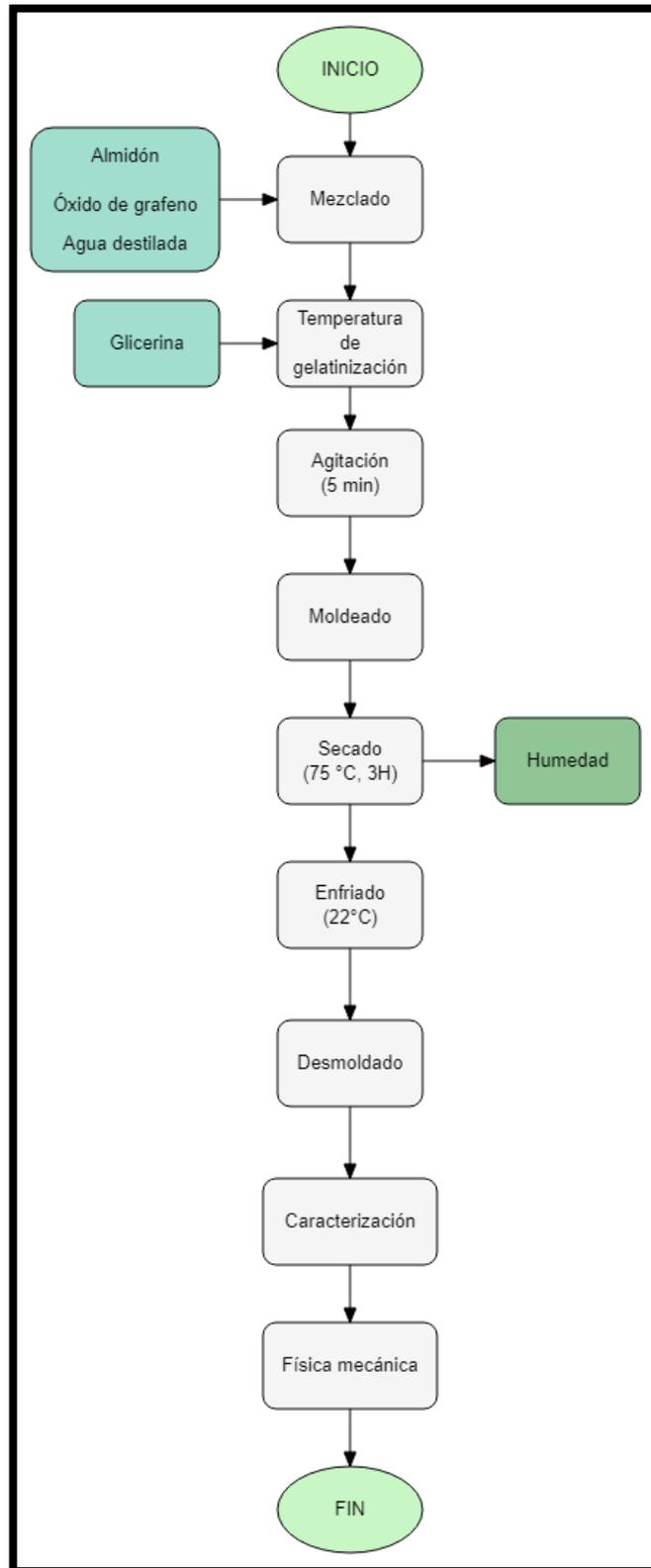


Gráfico 3-2: Diagrama de flujo de la obtención de plástico biodegradable

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

2.13.1.5. Caracterización de láminas de plástico biodegradable

Tabla 11-2: Ensayos para realizar la caracterización de las láminas de plásticos biodegradables provenientes del almidón de camote

| N° | Análisis | Materiales y equipos | Reactivo | Procedimiento | Fórmula para el Cálculo | Método de Ensayo |
|----|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Espesor | <ul style="list-style-type: none"> • Pie de rey • Láminas de plástico biodegradable • Cúter | Láminas de bioplástico a ensayar | <ul style="list-style-type: none"> • Medir con un pie de rey, en el cual debe tener una resolución de 0,002 cm. • Recortar 10 láminas con medidas de 4 cm x 4 cm de cada una de las muestras y el resultado del espesor • Realizar el promedio de las mediciones dadas | Medición directa | LABORATORIO TECNOLÓGICO DE URUGUAY No 4-2009-INN TEC - 33 |
| 2 | Humedad | <ul style="list-style-type: none"> • Termo balanza • Láminas de plástico biodegradable | Láminas de bioplástico a ensayar | <ul style="list-style-type: none"> • Colocar las láminas de plástico de una dimensión de 3x3 cm en la termobalanza • Seleccionar el programa para medir la humedad de los plásticos • Recolectar los valores que arroja el equipo | Medición directa | Método gravimétrico |
| 3 | Solubilidad en agua | <ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación • Probetas • Papel filtro • Balanza analítica | <ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Láminas de bioplástico a ensayar | <ul style="list-style-type: none"> • Las películas previamente secadas se colocaron en un vaso de precipitación de 100 mL con 80 mL de agua destilada • Se lleva a agitación de 100 rpm durante 1 hora • Filtrar y se procede a colocar en una estufa a 40 °C hasta que no quedan residuos de agua | $\%Solubilidad = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$ <p>Ecuación 3-2: Porcentaje de solubilidad Donde: P1= Peso inicial seco de lámina de bioplástico (g). P2= Peso final seco de la lámina de bioplástico (g).</p> | LABORATORIO TECNOLÓGICO DE URUGUAY No 4-2009-INN TEC - 33 |
| 4 | Grado de transmisión de vapor de agua | <ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación • Láminas de plástico biodegradable • Balanza analítica | <ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Silicon | <ul style="list-style-type: none"> • Llenar al tubo de ensayo sus ¾ partes con gel de sílice activada previamente. • Cortar las láminas de bioplástico con unas medidas de 3 a 3,5 cm². • Cubrir las bocas de los tubos de ensayo con las láminas de bioplástico cortadas. • Sellas herméticamente con cinta las láminas de bioplástico y el tubo de ensayo. | $TVA_{\epsilon} = \frac{\Delta m \times \epsilon}{t \times p v \times (\phi 2 - \phi 1)}$ <p>Ecuación 4-2: Permeabilidad de vapor de agua del bioplástico Donde: Δm= Cambio de masa (g).</p> | ASTM D1653-93: Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico |

| | | | | | | |
|---|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> Colocar en una gradilla los tubos. Colocar las muestras dentro de un desecador por 5 días. Realizar el pesaje de las muestras hasta obtener un peso constante. | <p>t= Tiempo entre lecturas p_v= presión de ϵ= Espesores de las láminas de bioplástico ϕ_2= humedad relativa 2. ϕ_1= humedad relativa 1.</p> | |
| 5 | Propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable | Máquina universal de pruebas de tracción | Láminas de bioplástico a ensayar | Según la norma el equipo es una máquina de prueba del tipo velocidad constante de movimiento de cruceta, el cual comprende de una parte fija que lleva una mordaza y una parte móvil que lleva una segunda mordaza. | Medición directa | INEN 2635: Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas |
| 6 | Biodegradabilidad | <ul style="list-style-type: none"> Recipientes herméticos Láminas de plástico biodegradable | <ul style="list-style-type: none"> Tierra orgánica Láminas de bioplástico a ensayar | <ul style="list-style-type: none"> Recortar la lámina de bioplástico en láminas de 2 cm x 2 cm Colocarlas en tierra orgánica a unos 12 cm de la superficie y mantener en un ambiente húmedo Revisar cada 7 días para verificar la presencia de las láminas hasta que se completen 12 semanas | $\%P_{\text{peso}} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$ <p>Ecuación 5-2: Rendimiento del proceso de degradación Donde: %Ppeso= Pérdida de peso P1= peso inicial seco de lámina de bioplástico (g). P2= Peso final seco de la lámina de bioplástico (g).</p> | INEN 2643: Especificaciones para plásticos compostables |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Datos obtenidos de los ensayos realizados

Los resultados físicos realizados a los tubérculos como materia prima se representan en la Tabla 12-3, Se tomó una población de 5 tubérculos usados para el estudio y se procedió a la recolección de datos de cada uno para determinar una media de las mediciones realizadas.

Tabla 12-3: Datos de los análisis físicos realizados a la materia prima

| No. | PRODUCTO | CARACTERÍSTICAS | | |
|-----|----------|-----------------|------------------|------------------|
| | | PESO (g) | LONGITUD (mm) | DIÁMETRO (mm) |
| 1 | Camote | 387,090 | 112,90 | 87,10 |
| 2 | | 281,170 | 98,20 | 89,30 |
| 3 | | 463,770 | 111,20 | 98,90 |
| 4 | | 292,450 | 99,50 | 89,10 |
| 5 | | 282,400 | 112,50 | 79,20 |
| TM | | 341,376 | 106,860 | 88,720 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021

3.1.1. Extracción por vía húmeda de almidón de camote

Según Parra, 2021, en su trabajo de titulación “obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*Ipomoea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo” realizó la extracción por vía húmeda teniendo mayor cantidad de almidón mediante esta técnica.

Tabla 13-3: Extracción de almidón de camote vía húmeda

| Producto | Tratamiento | Volumen agua (mL) | Materia prima (g) | Almidón | Rendimiento |
|----------|-----------------------------|-------------------|-------------------|---------|-------------|
| Camote | Rpm: 2000 Tiempo: 35 seg | 1000 | 500,717 | 63,486 | 12,679 |
| | | | 500,645 | 69,547 | 13,891 |
| | | | 500,638 | 75,698 | 15,120 |
| | | | 500,411 | 78,641 | 15,715 |
| | | | 500,43 | 69,584 | 13,905 |
| | | | 500,356 | 69,423 | 13,875 |

| | | | | | |
|--------------|--|--|-----------|----------|--------|
| | | | 500,003 | 71,268 | 14,254 |
| | | | 500,801 | 70,896 | 14,157 |
| | | | 500,745 | 73,459 | 14,670 |
| | | | 500,036 | 70,256 | 14,050 |
| | | | 500,896 | 69,288 | 13,833 |
| | | | 500,745 | 69,448 | 13,869 |
| | | | 500,036 | 59,576 | 11,914 |
| | | | 500,741 | 72,332 | 14,445 |
| | | | 500,563 | 70,225 | 14,029 |
| | | | 500,123 | 72,369 | 14,470 |
| | | | 500,256 | 69,258 | 13,845 |
| | | | 500,065 | 69,125 | 13,823 |
| | | | 500,963 | 68,474 | 13,668 |
| | | | 500,745 | 69,587 | 13,897 |
| | | | 500,961 | 69,236 | 13,821 |
| | | | 500,004 | 65,148 | 13,029 |
| | | | 500,045 | 69,256 | 13,850 |
| Total | | | 11510,925 | 1605,580 | 14,582 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2021.

3.1.2. Ensayos físicoquímicos para el almidón y la materia prima

De acuerdo con los ensayos ejecutados con dos repeticiones se realizaron arrojándonos como resultado los siguientes datos.

Tabla 14-3: Parámetros analizados del almidón

| N° | Ensayos | Almidón de Camote | Estándar | Norma |
|----|-------------------------------|-------------------|--------------|--------------------------------|
| 1 | Porcentaje de cenizas | 0,1291% | ≤0,12% | (AOAC, 2000 p. 23) |
| 2 | Solubilidad | 8,567 | 0,27 - 13,32 | (Anderson, et al, 1969, p. 32) |
| 3 | pH | 6,69 | 6,00-7,00 | (ISI, 1999, pp.. 76-78) |
| 4 | Viscosidad | 1476,33 cP | 850-1500 cP | (ISI, 1999, pp.. 56-57) |
| 5 | Temperatura de gelatinización | 67,67 °C | - | (Grace, 1977 pp. 33-34) |
| 6 | Humedad | 10,45% | - | (Tobarra, et al, 2018, p. 42) |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Para el camote se realizaron las mismas pruebas haciendo del camote una harina para poder realizar las distintas pruebas que también se realizaron al almidón procedente del mismo

Tabla 15-3: Parámetros analizados de la materia prima

| N° | Ensayos | Camote | Estándar | Norma |
|----|-----------------------|----------|----------|--------------------------------|
| 1 | Porcentaje de cenizas | 2,375% | 0,7-2,6% | (AOAC, 2000 p. 23) |
| 2 | Solubilidad | 28,984 | - | (Anderson, et al, 1969, p. 32) |
| 3 | pH | 6,13 | - | (ISI, 1999, pp.. 76-78) |
| 4 | Viscosidad | 48,97 cP | - | (ISI, 1999, pp.. 56-57) |
| 6 | Humedad | 69,791 | 70-90% | (Tobarra, et al, 2018, p. 42) |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022

Tabla 16-3: Porcentaje de amilosa y amilopectina en el almidón

| N° | Ensayos | Almidón de Camote | Institución |
|----|--------------|-------------------|-------------|
| 1 | Amilosa | 25,30% | INIAP |
| 2 | Amilopectina | 74,70% | INIAP |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.3. Ensayos microbiológicos para el almidón y la materia prima

Los ensayos realizados para las pruebas microbiológicas de igual manera se realizaron dos repeticiones.

Tabla 17-3: Parámetros analizados para la materia prima

| N° | Determinación | Unidad | Método de análisis | Resultado | Institución |
|----|--------------------|--------|-------------------------------------|-----------|-------------|
| 1 | Proteína | % | Micro Kjeldahl | 4,08 | SAQMIC |
| 2 | Fibra | % | Digestión acido-base (gravimétrico) | 4,41 | SAQMIC |
| 3 | Mohos y levaduras | UFC/g | Siembra en masa | Ausencia | SAQMIC |
| 4 | Hongos | UFC/g | Siembra en masa | Ausencia | SAQMIC |
| 6 | Coliformes totales | UFC/g | Siembra en masa | Ausencia | SAQMIC |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Tabla 18-3: Parámetros analizados para el almidón

| N° | Determinación | Unidad | Método de análisis | Resultado | Institución |
|----|--------------------|--------|--------------------|-----------|-------------|
| 1 | Mohos y levaduras | UFC/g | Siembra en masa | Ausencia | SAQMIC |
| 2 | Hongos | UFC/g | Siembra en masa | Ausencia | SAQMIC |
| 3 | Coliformes totales | UFC/g | Siembra en masa | Ausencia | SAQMIC |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.4. Pruebas preliminares para la elaboración de las láminas de plástico biodegradable

3.1.4.1. Formulación de almidón y glicerina con óxido de grafeno para obtención de bioplástico

Según Parra 2021 en su trabajo de titulación “obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*ipomea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo”, partiendo de la mejor formulación de composiciones de almidón y glicerina se obtiene:

Tabla 19-3: Determinación de la cantidad de almidón y glicerina a emplear para obtención de bioplástico con óxido de grafeno.

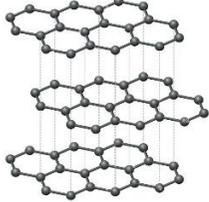
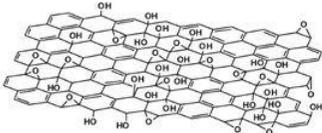
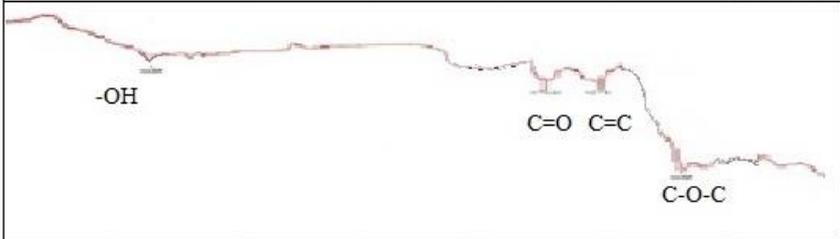
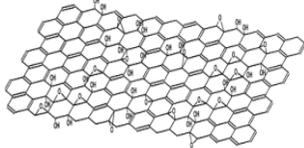
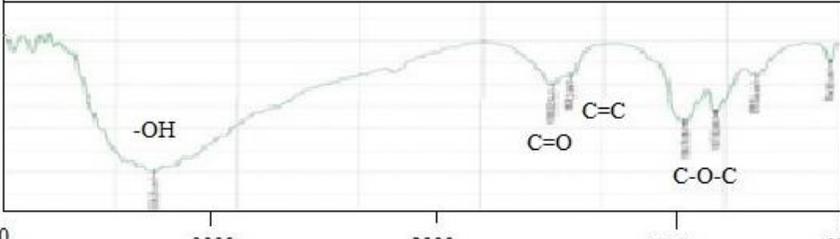
| Almidón (g) | Glicerina (mL) | Óxido de Grafeno (mL) | Transparencia | Facilidad de moldeo | Estabilidad |
|-------------|----------------|-----------------------|---------------|---------------------|-------------|
| 1 | 1 | 1 | Si | Si | No |
| 2 | 0,8 | 1 | Si | No | No |
| 2 | 1 | 1 | Si | No | No |
| 2 | 1,2 | 1 | Si | Si | Si |
| 3 | 0,8 | 1 | No | No | No |
| 3 | 1 | 1 | No | Si | No |
| 3 | 1,2 | 1 | No | Si | No |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Teniendo en cuenta la mejor formulación para obtener láminas de bioplástico, se espera ver la incidencia que el óxido de grafeno para la elaboración de láminas de bioplástico.

3.1.5. Estructura y espectros de los materiales

Tabla 20-3: Estructuras y espectros de los materiales

| Nombre | Espectro IR |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p data-bbox="616 402 707 427">Grafito</p>  |  |
| <p data-bbox="562 678 763 703">Óxido de grafito</p>  |  |
| <p data-bbox="557 896 768 922">Óxido de grafeno</p>  |  |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

En los espectros de IR de cada uno de los compuestos de la presente investigación se evidencia la oxidación del grafito a óxido de grafito y óxido de grafeno, misma que se producen por la adición de grupos funcionales hidroxilos en el pico de $3336,25\text{ cm}^{-1}$, carbonilos presentes en los de 1700 cm^{-1} , también se evidencia en el pico de $1639,2\text{ cm}^{-1}$ esta frecuencia corresponde a la vibración de estiramiento de enlace C=C, así como también el pico de $1037,52\text{ cm}^{-1}$ la presencia de epóxidos.

Por otro lado, la diferencia entre el óxido de grafito con el óxido de grafeno se da por la separación de capas, mismo que se obtiene mediante la sonicación del óxido de grafito, además, hay que resaltar es que la hibridación del grafito y óxido de grafito es sp^2 con la del óxido de grafeno es sp^3 , debido que en la oxidación destruye la estructura aromática del grafito según (Ebbe, et al, 2013, p. 33).

3.1.5.1. Interpretación de los espectros UV e IR

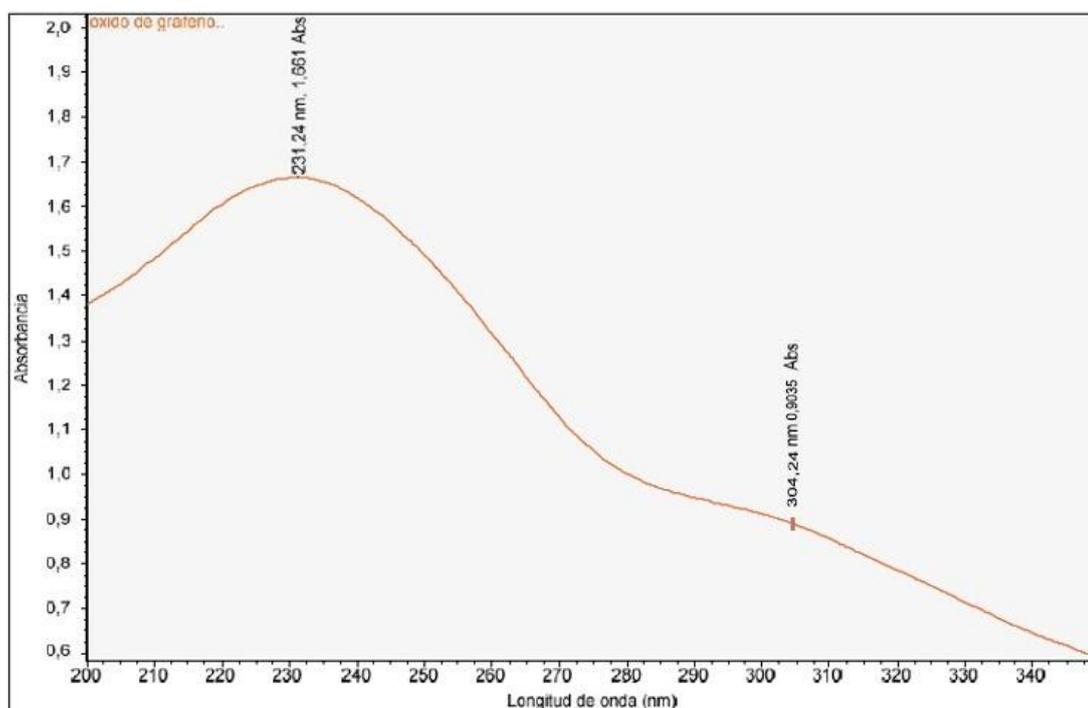


Figura 5-3: Absorbancia del óxido de grafeno

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Como podemos evidenciar en la Figura 4-3 el máximo de absorbancia tenemos en la longitud de onda de 231,24 nm, la estructura molecular del óxido de grafeno presenta enlaces C=C conjugados, con hibridación sp^2 , este tipo de estructura al ser excitada por la radiación UV del espectrofotómetro genera transiciones electrónicas en los enlaces π de la estructura, específicamente $\pi \rightarrow \pi^*$.

Esta transición electrónica ocurre a un máximo de absorbancia de 227-231 nm (Marcano, et al, 2010, pp. 56-57), lo que coincide con el pico evidenciado en el espectro de la Figura 4-3, Por otra parte, la estructura del óxido de grafeno incluye grupos funcionales en su mayoría carbonilos, según Marcano, et al, (2010) estos grupos funcionales absorben radiación UV alrededor de los 300 nm, esto debido a la transición $n \rightarrow \pi^*$, en la Figura 5-3 se aprecia un pico de menor intensidad a 304,48 nm el cual es característico del enlace C=O (carbonilo) presente en la estructura del óxido de grafeno, lo que comprueba que el material sufrió una oxidación.

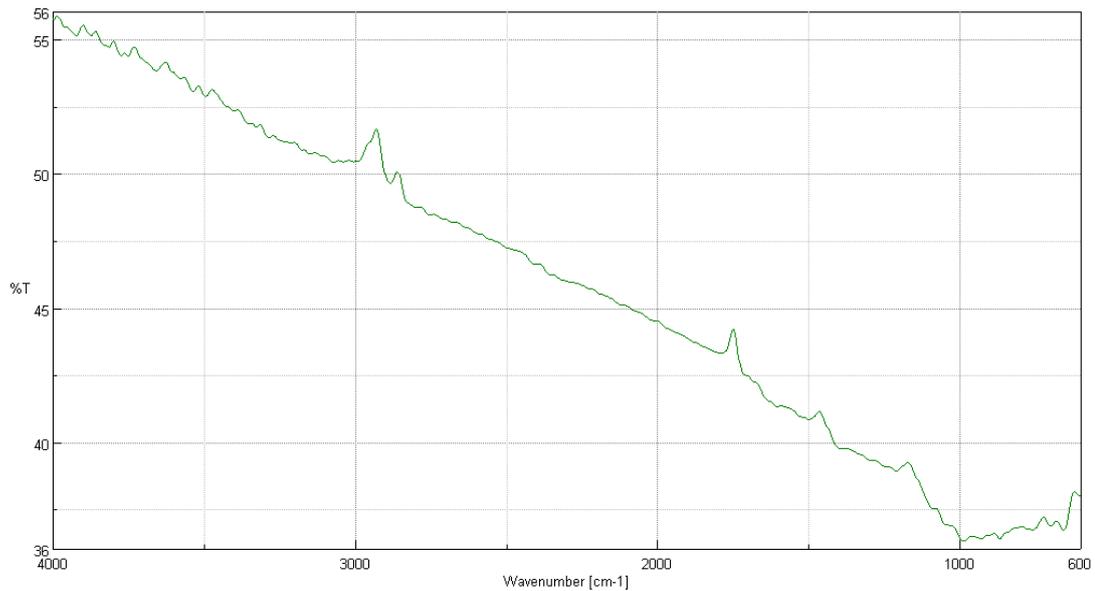


Figura 6-3: Absorbancia del óxido de grafeno

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Espectro de infrarrojo de la muestra de grafito que pasa a óxido de grafeno, En la cual se observa el pico de $2948,87 \text{ cm}^{-1}$ el cual representa el enlace de C-C.

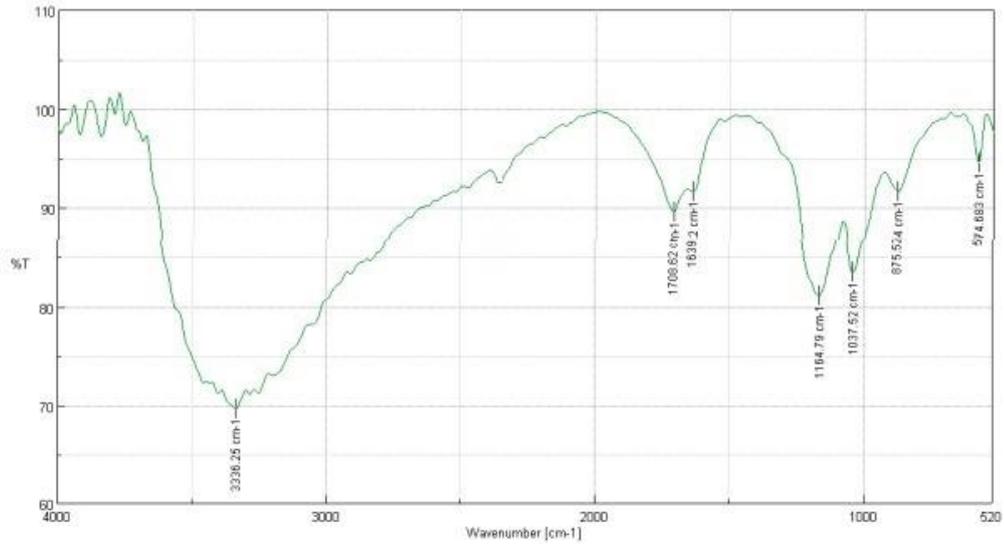


Figura 7-3: IR del óxido de grafeno

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

La Figura 7-3 muestra el espectro FTIR del material sintetizado, en este se puede notar un pico ancho y prominente que aparece en la frecuencia de los $3336,25 \text{ cm}^{-1}$ lo cual corresponde al movimiento de estiramiento del enlace O-H (hidroxilo) presente en la estructura del óxido de grafeno, esto es similar a lo reportado por Marcano, et al, (2010). este autor menciona en su investigación picos de 3420 cm^{-1} , valor muy cercano a lo hallado en el presente trabajo; otro de los picos encontrados es de $1708,62 \text{ cm}^{-1}$ este representa a la vibración de estiramiento del enlace carbonilo (C=O) según Wade, (2011). esta vibración de estiramiento ocurre los 1710 cm^{-1} valor el cual se encuentra muy cercano a lo encontrado; también se ha encontrado un pico de $1639,2 \text{ cm}^{-1}$, esta frecuencia corresponde a la vibración de estiramiento de enlace C=C, según Wade, (2011). esto ocurre alrededor de los 1660 cm^{-1} sin embargo la conjugación disminuye la frecuencia a alrededor de 1600 cm^{-1} , esto coincide con la estructura del óxido de grafeno la cual presenta dobles enlaces conjugados; finalmente, en el intervalo $1164,79 - 574,683 \text{ cm}^{-1}$ esta región es considerada como de señal de huella dactilar, cuya característica son las pequeñas diferencias en la estructura y la constitución de una molécula, la mayoría de los enlaces sencillos absorben en esta región, según Wade, (2011). los enlaces C-O-C (correspondiente a epóxidos), y C-C absorben en esta región.

Según lo descrito anteriormente podemos demostrar que el material sintetizado tiene una estructura de dobles enlaces conjugados y grupos funcionales en los cuales predomina los átomos de oxígeno, esto evidencia que ocurrió una reacción de oxidación en el proceso.

Tabla 21-3: Nomenclatura y volumen utilizado de óxido de grafeno

| Almidón (g) | Glicerina (mL) | Nomenclatura | Óxido de Grafeno (mL) | Transparencia | Facilidad de moldeo | Maleable | Estabilidad |
|-------------|----------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------------|----------|-------------|
| 2 | 1,2 | TA-1 | 0,2 | Poco opaco | Si | Si | Si |
| | | TA-2 | 0,2 | Poco opaco | Si | Si | Si |
| | | TA-3 | 0,2 | Poco opaco | Si | Si | Si |
| | | TA-4 | 0,2 | Poco opaco | Si | Si | Si |
| | | TB-1 | 0,4 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TB-2 | 0,4 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TB-3 | 0,4 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TB-4 | 0,4 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TC-1 | 0,6 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TC-2 | 0,6 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TC-3 | 0,6 | Opaco | Si | Si | Si |
| | | TC-4 | 0,6 | Muy opaco | Si | Si | Si |
| | | TD-1 | 0,8 | Ligera | Si | Si | Si |
| | | TD-2 | 0,8 | Ligera | Si | Si | Si |
| | | TD-3 | 0,8 | Ligera | Si | Si | Si |
| | | TD-4 | 0,8 | Ligera | Si | Si | Si |
| | | TE-1 | 1 | No | Si | Si | Si |
| | | TE-2 | 1 | No | Si | Si | Si |
| | | TE-3 | 1 | No | Si | Si | Si |
| | | TE-4 | 1 | No | Si | Si | Si |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.6. Datos para determinar las propiedades mecánicas, físicas y biodegradables para las láminas de bioplástico de camote

3.1.6.1. Datos de espesor para las láminas de plástico biodegradable de camote

Se efectuaron diez mediciones a cada una de las réplicas de los tratamientos realizados.

Tabla 22-3: Datos de espesor para las láminas de plástico biodegradable de camote

| Tratamiento | Espesor 1 (mm) | Espesor 2 (mm) | Espesor 3 (mm) | Espesor 4 (mm) | Espesor 5 (mm) | Espesor 6 (mm) | Espesor 7 (mm) | Espesor 8 (mm) | Espesor 9 (mm) | Espesor 10 (mm) |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| TA1 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| TA2 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 |
| TA3 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,20 |
| TA4 | 0,20 | 0,30 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,10 |
| TB1 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | 0,10 | 0,20 | 0,30 |
| TB2 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,40 |
| TB3 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,20 |
| TB4 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,10 |
| TC1 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | 0,10 | 0,20 | 0,10 |
| TC2 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,20 |
| TC3 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,20 |
| TC4 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,20 |
| TD1 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,30 |
| TD2 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,20 |
| TD3 | 0,30 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,10 |
| TD4 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| TE1 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,10 | 0,20 |
| TE2 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | 0,40 |
| TE3 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,20 |
| TE4 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,40 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,30 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.6.2. ANOVA del espesor (mm)

ANOVA Simple - Espesor promedio (mm) por tratamientos

Variable dependiente: Espesor promedio (mm)

Factor: TRATAMIENTOS

Número de observaciones: 20

Número de niveles: 5

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Espesor promedio (mm), Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Espesor promedio (mm) para los 5 diferentes niveles de TRATAMIENTOS. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 23-3: Resumen estadístico para espesor promedio (mm)

| TRATAMIENTOS | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo |
|--------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|
| A | 4 | 0,1725 | 0,0206155 | 11,951% | 0,15 |
| B | 4 | 0,2175 | 0,0170783 | 7,85207% | 0,2 |
| C | 4 | 0,2125 | 0,0518813 | 24,4147% | 0,18 |
| D | 4 | 0,1975 | 0,025 | 12,6582% | 0,17 |
| E | 4 | 0,2225 | 0,0170783 | 7,67562% | 0,2 |
| Total | 20 | 0,2045 | 0,0320321 | 15,6636% | 0,15 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Tabla 24-3: Parámetros estadísticos para espesor promedio (mm)

| TRATAMIENTOS | Máximo | Rango | Sesgo Estandarizado | Curtosis Estandarizada |
|--------------|--------|-------|---------------------|------------------------|
| A | 0,2 | 0,05 | 0,58244 | 0,728914 |
| B | 0,24 | 0,04 | 0,614689 | 0,139971 |
| C | 0,29 | 0,11 | 1,59181 | 1,57038 |
| D | 0,23 | 0,06 | 0,457238 | 0,378854 |
| E | 0,24 | 0,04 | -0,614689 | 0,139971 |
| Total | 0,29 | 0,14 | 1,44883 | 1,22562 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Espesor promedio (mm) para cada uno de los 5 niveles de TRATAMIENTOS. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio.

Tabla 25-3: ANOVA para espesor promedio (mm) por tratamientos

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 0,00652 | 4 | 0,00163 | 1,88 | 0,1656 |
| Intra grupos | 0,012975 | 15 | 0,000865 | | |
| Total (Corr.) | 0,019495 | 19 | | | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

La tabla ANOVA descompone la varianza de Espesor promedio (mm) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1,88439, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Espesor promedio (mm) entre un nivel de TRATAMIENTOS y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 26-3: Medias para espesor promedio (mm) por tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

| | | | Error Est. | | |
|--------------|-------|--------|--------------|-----------------|-----------------|
| TRATAMIENTOS | Casos | Media | (s agrupada) | Límite Inferior | Límite Superior |
| A | 4 | 0,1725 | 0,0147054 | 0,150336 | 0,194664 |
| B | 4 | 0,2175 | 0,0147054 | 0,195336 | 0,239664 |
| C | 4 | 0,2125 | 0,0147054 | 0,190336 | 0,234664 |
| D | 4 | 0,1975 | 0,0147054 | 0,175336 | 0,219664 |
| E | 4 | 0,2225 | 0,0147054 | 0,200336 | 0,244664 |
| Total | 20 | 0,2045 | | | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Esta tabla muestra la media de Espesor promedio (mm) para cada nivel de TRATAMIENTOS, también muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces.

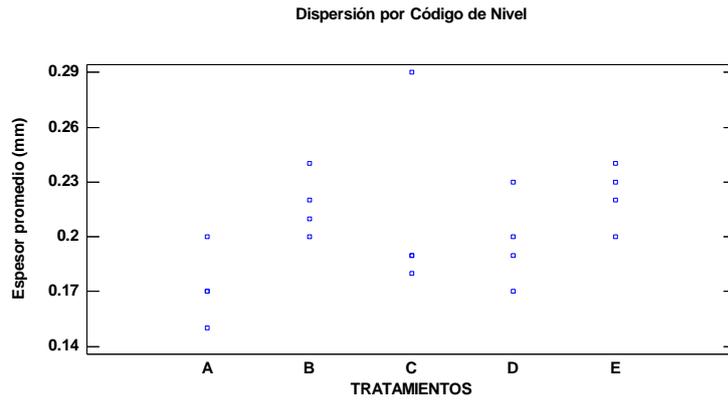


Figura 8-3: Dispersión por código de nivel

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

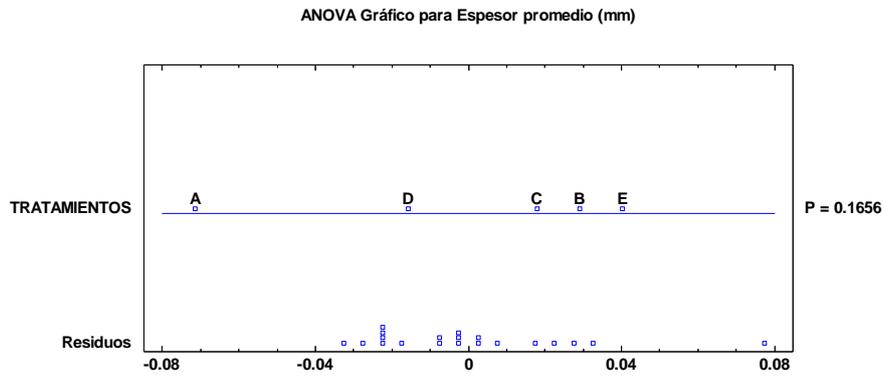


Figura 9-3: ANOVA gráfico

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Esta figura nos ilustra de mejor manera como están distribuidos los datos de cada uno de los tratamientos y la no existencia de diferencia estadística significativa entre datos de espesor por tratamiento.

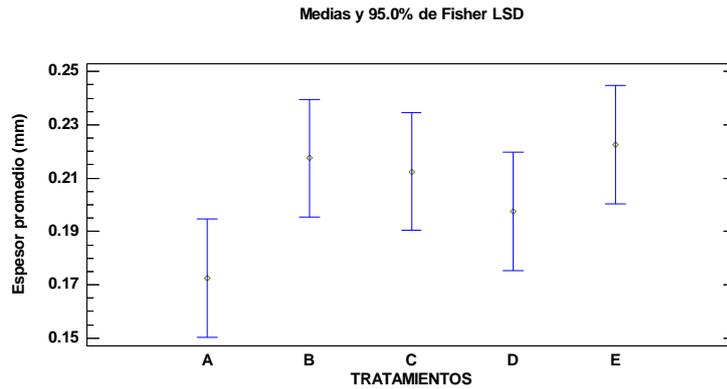


Figura 10-3: Medias por cada tratamiento

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Verificamos que el tratamiento A es el que menor espesor presenta, mientras que el de mayor espesor corresponde al tratamiento E.

3.1.7. *Ensayo de humedad*

Para el ensayo de humedad se lo realizó con la ayuda de la termobalanza la cual nos da un resultado directo y no debemos realizar ningún cálculo.

Tabla 27-3: Humedad de bioplásticos

| Nº | Muestra | Humedad 1 (%) | Humedad 2 (%) | Humedad Prom (%) |
|----|---------|---------------|---------------|------------------|
| 1 | TA | 18,187 | 18,569 | 18,378 |
| 2 | TB | 18,484 | 18,425 | 18,4545 |
| 3 | TC | 19,734 | 18,369 | 19,0515 |
| 4 | TD | 18,29 | 18,254 | 18,272 |
| 5 | TE | 18,33 | 19,789 | 19,0595 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.8. *Ensayo de solubilidad*

Para el ensayo de solubilidad se utilizaron las muestras que salieron de la prueba de humedad, para un mejor cálculo de la propiedad. Esta experimentación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, haciendo uso de un agitador a 100 rpm y una estufa a 40°C, para el secado del plástico biodegradable.

Tabla 28-3: Solubilidad de bioplásticos

| Tratamientos | Repeticiones | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Porcentaje |
|--------------|--------------|------------------|----------------|------------|
| TA | TA-1 | 1,5650 | 0,7136 | 54,4026 |
| | TA-2 | 1,4660 | 0,6125 | 58,2196 |
| | TA-3 | 1,5232 | 0,6933 | 54,4840 |
| TB | TB-1 | 1,0480 | 0,5031 | 51,9943 |
| | TB-2 | 1,0198 | 0,4589 | 55,0010 |
| | TB-3 | 1,2263 | 0,5214 | 57,4819 |
| TC | TC-1 | 1,0080 | 0,3960 | 60,7143 |
| | TC-2 | 1,0450 | 0,4212 | 59,6938 |
| | TC-3 | 1,0300 | 0,3955 | 61,6019 |
| TD | TD-1 | 1,5050 | 0,7302 | 51,4817 |
| | TD-2 | 1,4896 | 0,6985 | 53,1082 |
| | TD-3 | 1,5002 | 0,6985 | 53,4395 |
| TE | TE-1 | 1,2450 | 0,6892 | 44,6426 |
| | TE-2 | 1,2530 | 0,6563 | 47,6217 |
| | TE-3 | 1,1526 | 0,5562 | 51,7439 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.9. *Ensayo de permeabilidad*

Tabla 29-3: Resultados de permeabilidad

| Muestras | Permeabilidad (mm g/m ² h) |
|----------|---------------------------------------|
| TA-1 | 7,0333 |
| TA-2 | 6,9840 |
| TA-3 | 7,0030 |
| TB-1 | 6,9375 |
| TB-2 | 6,8354 |
| TB-3 | 6,9552 |
| TC-1 | 4,6269 |
| TC-2 | 4,7580 |
| TC-3 | 4,9871 |
| TD-1 | 6,4215 |
| TD-2 | 7,0025 |
| TD-3 | 6,7520 |
| TE-1 | 6,9330 |
| TE-2 | 7,0201 |
| TE-3 | 6,9853 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.9.1. *Análisis de permeabilidad*

Es evidente que el volumen de óxido de grafeno influye en la permeabilidad del bioplástico en relación con los datos obtenidos en el trabajo de (Parra, 2019) que entre su mejor tratamiento para camote da una permeabilidad de 0,1145 mm g/m² h mientras que en el nuestro tenemos una permeabilidad máxima de 4,6269 mm g/m² h marcando diferencia entre uno y otro.

3.1.10. Pruebas mecánicas

Tabla 30-3: Pruebas mecánicas de bioplástico con óxido de grafeno

| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | Energía (J) | Max. Carga (N) | Max. Desplazamiento (mm) | Max. Esfuerzo (Mpa) | Max. Deformación (%) | Media de Esfuerzo |
|--------------|--------------|-------------|----------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| TA | TA-1 | 0,00059 | 0,685 | 4,18667 | 0,21677 | 10,1618 | 0,3061 |
| | TA-2 | 0,00174 | 0,7475 | 3,70133 | 0,21604 | 10,5451 | |
| | TA-3 | 0,00569 | 0,97 | 10,3698 | 0,32333 | 28,3329 | |
| | TA-4 | 0,00466 | 1,775 | 8,62833 | 0,52827 | 23,9012 | |
| | TA-5 | 0,01223 | 1,4825 | 15,0055 | 0,31476 | 41,111 | |
| | TA-6 | 0,00495 | 1,205 | 6,284 | 0,23767 | 16,7573 | |
| TB | TB-1 | 0,00581 | 2,06 | 4,74712 | 0,56284 | 12,2348 | 0,4183 |
| | TB-2 | 0,00606 | 2,035 | 5,22422 | 0,39669 | 13,4299 | |
| | TB-3 | 0,00483 | 1,73 | 465,821 | 0,44689 | 998,634 | |
| | TB-4 | 0,00245 | 1,26 | 2,86267 | 0,36207 | 7,86447 | |
| | TB-5 | 0,00402 | 1,6475 | 3,64167 | 0,32304 | 9,81581 | |
| | TB-6 | 0,00729 | 2,2075 | 5,83302 | 0,41809 | 15,2697 | |
| TC | TC-1 | 0,00825 | 2,13 | 7,25332 | 0,41765 | 19,8721 | 0,4709 |
| | TC-2 | 0,00888 | 2,0275 | 6,96167 | 0,40713 | 17,7594 | |
| | TC-3 | 0,00961 | 1,985 | 7,679 | 0,38922 | 19,5394 | |
| | TC-4 | 0,00909 | 1,94 | 7,914 | 0,56725 | 21,2172 | |
| | TC-5 | 0,0055 | 1,5525 | 5,67717 | 0,45932 | 14,2642 | |
| | TC-6 | 0,00955 | 1,965 | 8,25583 | 0,58482 | 21,3882 | |
| TD | TD-1 | 0,00579 | 2,3125 | 4,25492 | 0,64595 | 11,0517 | 0,5850 |
| | TD-2 | 0,0051 | 2,205 | 3,97976 | 0,63362 | 10,337 | |
| | TD-3 | 0,01515 | 3,3175 | 7,75205 | 0,6076 | 20,5625 | |

| | | | | | | | |
|----|------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | TD-4 | 0,01056 | 2,77 | 6,48499 | 0,79143 | 17,1108 | |
| | TD-5 | 0,01107 | 2,7975 | 6,52906 | 0,50405 | 16,9147 | |
| | TD-6 | 0,00329 | 1,66 | 3,02361 | 0,32742 | 7,73301 | |
| TE | TE-1 | 0,00296 | 1,635 | 2,35833 | 0,2962 | 6,37387 | 0,3132 |
| | TE-2 | 0,00171 | 1,245 | 1,79017 | 0,34203 | 4,4421 | |
| | TE-3 | 0,00447 | 2,085 | 3,34494 | 0,38187 | 8,51129 | |
| | TE-4 | 0,00124 | 0,845 | 2,1075 | 0,23603 | 5,4317 | |
| | TE-5 | 0,0004 | 0,7375 | 1,31933 | 0,14633 | 3,51822 | |
| | TE-6 | 0,00286 | 1,64 | 2,624 | 0,47674 | 7,13043 | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Tabla 31-3: Pruebas mecánicas de bioplásticos sin óxido de grafeno

| TRATAMIENTOS | Energía (J) | Max. Carga (N) | Max. Desplazamiento (mm) | Max. Esfuerzo (Mpa) | Max. Deformación (%) |
|--------------|-------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Blanco | 0,00501 | 0,5175 | 18,505 | 0,18482 | 46,2625 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.1.10.1. Porcentaje de mejora

$$\text{Porcentaje de mejora} = \frac{C. \text{ Mejora} - \text{Blanco}}{\text{Blanco}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de mejora} = \frac{0,79143 - 0,18482}{0,18482} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de mejora} = 328,22\%$$

Tabla 32-3: Análisis de varianza para máximo esfuerzo (MPa) - Suma de cuadrados tipo III (ANOVA)

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-----------------------------|-------------------|-----------|----------------|---------|---------|
| EFFECTOS PRINCIPALES | | | | | |
| TRATAMIENTOS | 0,325392 | 4 | 0,0813479 | 4,24 | 0,0098 |
| RESIDUOS | 0,460475 | 24 | 0,0191865 | | |
| TOTAL (CORREGIDO) | 0,785867 | 28 | | | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Máximo esfuerzo (Mpa) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores.

Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Máximo esfuerzo (Mpa) con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 33-3: Medias por mínimos cuadrados para máximo esfuerzo (mpa) con intervalos de confianza del 95,0%

| Nivel | Casos | Media | Error Est. | Límite Inferior | Límite Superior |
|---------------------|-------|----------|------------|-----------------|-----------------|
| MEDIA GLOBAL | 29 | 0,407412 | | | |
| TRATAMIENTOS | | | | | |
| TA | 5 | 0,32416 | 0,0619459 | 0,19631 | 0,45201 |
| TB | 6 | 0,470898 | 0,0565486 | 0,354188 | 0,587609 |
| TC | 6 | 0,343788 | 0,0565486 | 0,227078 | 0,460499 |
| TD | 6 | 0,585012 | 0,0565486 | 0,468301 | 0,701722 |
| TE | 6 | 0,3132 | 0,0565486 | 0,196489 | 0,429911 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Esta tabla muestra la media de Máximo esfuerzo (Mpa) para cada uno de los niveles de los factores, También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias.

Tabla 33-3: Pruebas de Múltiple Rangos para Máximo esfuerzo (Mpa) por tratamientos Método: 95,0 porcentaje LSD

| TRATAMIENTOS | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|--------------|-------|------------|-----------|-------------------|
| TE | 6 | 0,3132 | 0,0565486 | X |
| TA | 5 | 0,32416 | 0,0619459 | X |
| TC | 6 | 0,343788 | 0,0565486 | X |
| TB | 6 | 0,470898 | 0,0565486 | XX |
| TD | 6 | 0,585012 | 0,0565486 | X |
| Contraste | Sig, | Diferencia | | +/- Límites |
| TA - TB | | -0,146738 | | 0,17311 |
| TA - TC | | -0,0196283 | | 0,17311 |
| TA - TD | * | -0,260852 | | 0,17311 |
| TA - TE | | 0,01096 | | 0,17311 |
| TB - TC | | 0,12711 | | 0,165054 |
| TB - TD | | -0,114113 | | 0,165054 |
| TB - TE | | 0,157698 | | 0,165054 |
| TC - TD | * | -0,241223 | | 0,165054 |
| TC - TE | | 0,0305883 | | 0,165054 |
| TD - TE | * | 0,271812 | | 0,165054 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias, el asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la p.ina, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 34-3: Análisis Tukey de Max. Esfuerzo

| Comparación | σ_1 | σ_2 | F-Ratio | P-Valor |
|-------------|------------|------------|----------|---------|
| A / B | 0.118747 | 0.0829608 | 2.04881 | 0.4499 |
| A / C | 0.118747 | 0.0848163 | 1.96015 | 0.4779 |
| A / D | 0.118747 | 0.156271 | 0.577418 | 0.5614 |
| A / E | 0.118747 | 0.115223 | 1.06211 | 0.9489 |
| B / C | 0.0829608 | 0.0848163 | 0.956727 | 0.9625 |
| B / D | 0.0829608 | 0.156271 | 0.281831 | 0.1908 |
| B / E | 0.0829608 | 0.115223 | 0.518402 | 0.4882 |
| C / D | 0.0848163 | 0.156271 | 0.294578 | 0.2059 |
| C / E | 0.0848163 | 0.115223 | 0.541849 | 0.5175 |
| D / E | 0.156271 | 0.115223 | 1.83941 | 0.5198 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Max. Esfuerzo dentro de cada uno de los 5 niveles de TRATAMIENTOS es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

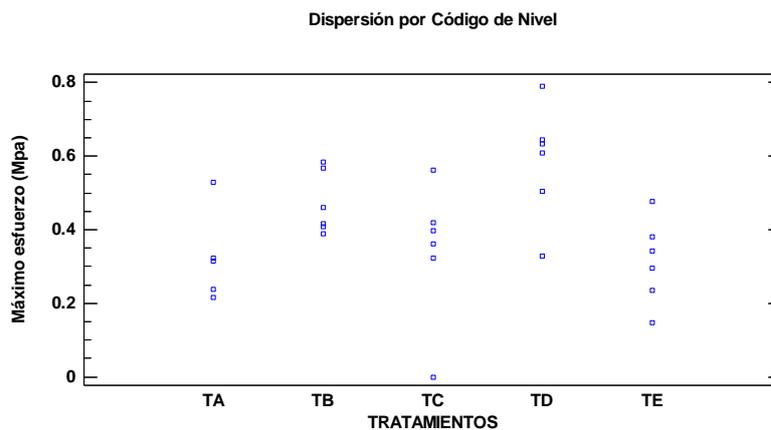


Figura 11-3: Dispersión por tratamiento

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

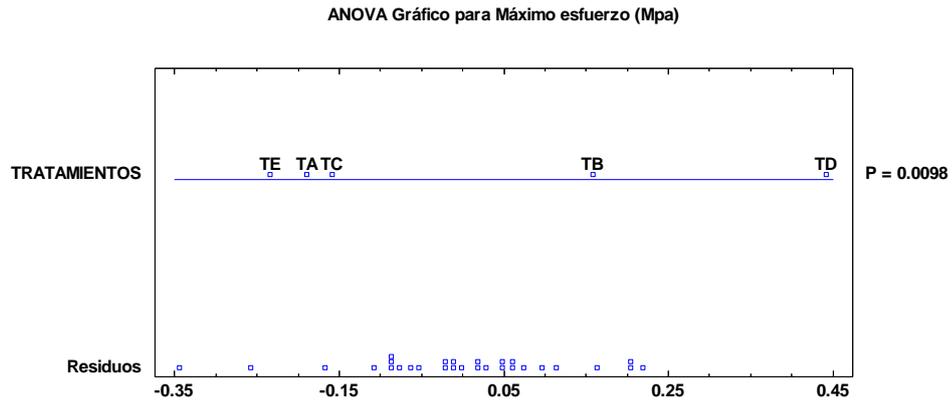


Figura 12-3: ANOVA cada tratamiento

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

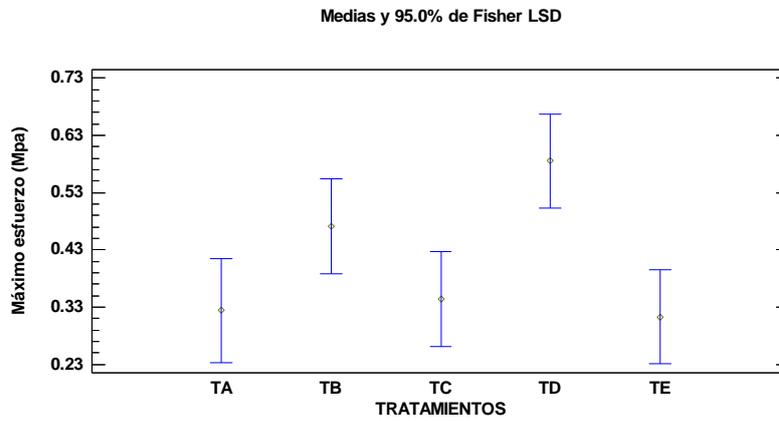


Figura 13-3: Medias por cada tratamiento

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.2. Cálculos

3.2.1. Almidón

3.2.1.1. Rendimiento de la extracción por vía húmeda

$$\%Rendimiento = \frac{\text{peso del almidón obtenido (g)}}{\text{peso de la materia prima (camote)(g)}} * 100$$

$$\%Rendimiento = \frac{890,981}{11510,925} * 100$$

$$\%Rendimiento = 8,09$$

3.2.1.2. Contenido de cenizas

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

$$\%Cenizas = \frac{0,0012}{1,0024} \times 100$$

$$\%Cenizas = 0,1197126895$$

3.2.1.3. Índice de solubilidad en agua

$$ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times \text{Volumen del sobrenadante (mL)} \times 10/\text{mL}}{\text{Peso de la muestra en base seca (g)}}$$

$$ISA = \frac{0,023 \text{ g} \times 26 \text{ mL} \times 10/\text{mL}}{1,396 \text{ g}}$$

$$ISA = 8,567$$

3.2.2. Bioplásticos

3.2.2.1. Porcentaje de solubilidad

Para el cálculo del porcentaje de solubilidad se lo realiza con la siguiente formula

$$\%solubilidad = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100$$

$$\%solubilidad = \frac{1,5650 - 0,7136}{1,5650} \times 100$$

$$\%solubilidad = 54,4026$$

3.2.2.2. Cálculo de permeabilidad

El cálculo de la permeabilidad se lleva a cabo con la siguiente formula

$$TVA = \frac{\Delta m}{\Delta t \times A} \times \varepsilon \times l$$

Donde

TVA = Permeabilidad (mmg/m²h)

Δm = Variación de la masa (g)

Δt = Variación del tiempo (h)

A = Area del bioplástico (m^2)

ε = Espesor del bioplástico (m)

$$TVA = \frac{(21,0080 \text{ g} - 20,8036 \text{ g})}{72 \text{ h} \times 0,000102 \text{ m}^2} \times 0,2 \text{ mm}$$

$$TVA = 5,56645 \text{ mm g/m}^2 \text{ h}$$

3.2.2.3. Cálculo de biodegradabilidad

$$\% \text{Degradabilidad} = \frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}}$$

$$\% \text{Degradabilidad} = \frac{0,27 - 0,20}{0,27} * 100$$

$$\% \text{Degradabilidad} = 27,48 \%$$

Tabla 35-3: Biodegradabilidad en medio ambiente

| BIODEGRADABILIDAD EN AMBIENTE 90 DÍAS | | | |
|----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| TRATAMIENTO | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Biodegradabilidad % |
| TA | 0,26 | 0,0508 | 80,46 |
| | 0,243 | 0,06318 | 74,00 |
| | 0,26 | 0,06318 | 75,70 |
| | 0,31 | 0,1054 | 66,00 |
| | 0,34 | 0,1088 | 68,00 |
| TB | 0,27 | 0,0891 | 67,00 |
| | 0,31 | 0,0711 | 77,06 |
| | 0,26 | 0,0546 | 79,00 |
| | 0,29 | 0,0812 | 72,00 |
| | 0,27 | 0,0945 | 65,00 |
| TC | 0,387 | 0,16641 | 57,00 |
| | 0,29 | 0,1218 | 58,00 |

| | | | |
|----|-------|----------|-------|
| | 0,27 | 0,101 | 62,59 |
| | 0,24 | 0,0984 | 59,00 |
| | 0,23 | 0,0989 | 57,00 |
| TD | 0,26 | 0,1118 | 57,00 |
| | 0,28 | 0,1344 | 52,00 |
| | 0,234 | 0,10764 | 54,00 |
| | 0,256 | 0,102656 | 59,90 |
| | 0,297 | 0,161271 | 45,70 |
| TE | 0,25 | 0,0825 | 67,00 |
| | 0,257 | 0,03084 | 87,88 |
| | 0,234 | 0,082836 | 64,60 |
| | 0,278 | 0,150954 | 45,70 |
| | 0,278 | 0,178754 | 35,70 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Tabla 36-3: Resumen estadístico para biodegradabilidad % (Ambiente)

| TRATAMIENTOS | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coficiente de Variación | Mínimo |
|--------------|----------|----------|---------------------|-------------------------|--------|
| TA | 5 | 72,14 | 4,86292 | 6,74095% | 66,0 |
| TB | 5 | 72,0 | 6,08276 | 8,44828% | 65,0 |
| TC | 5 | 58,2 | 1,30384 | 2,24028% | 57,0 |
| TD | 5 | 53,72 | 5,39231 | 10,0378% | 45,7 |
| TE | 5 | 60,2 | 20,3036 | 33,7269% | 35,7 |
| Total | 25 | 63,252 | 11,9386 | 18,8747% | 35,7 |
| TRATAMIENTOS | Máximo | Rango | Sesgo Estandarizado | Curtosis Estandarizada | |
| TA | 77,0 | 11,0 | -0,450122 | -1,1565 | |
| TB | 79,0 | 14,0 | 0 | -1,12925 | |
| TC | 60,0 | 3,0 | 0,494217 | -0,679125 | |
| TD | 59,9 | 14,2 | -0,605505 | 0,208692 | |
| TE | 88,0 | 52,3 | 0,187677 | -0,279674 | |
| Total | 88,0 | 52,3 | -0,360345 | 0,138268 | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Biodegradabilidad % (Ambiente) para cada uno de los 5 niveles de TRATAMIENTOS, la intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. ADVERTENCIA: Hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de varianza asume que las desviaciones estándar de todos los niveles son igual. Seleccione Verificación de Varianza de la lista de Opciones Tabulares para ejecutar una prueba estadística formal para la diferencia entre las sigmas. Podría considerar transformar los valores de Biodegradabilidad % (Ambiente) para eliminar cualquier dependencia de la desviación estándar de la media.

Tabla 37-3: Tabla ANOVA para biodegradabilidad % (Ambiente) por tratamientos

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 1406,1 | 4 | 351,526 | 3,49 | 0,0257 |
| Intra grupos | 2014,64 | 20 | 100,732 | | |
| Total (Corr.) | 3420,74 | 24 | | | |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

La tabla ANOVA descompone la varianza de Biodegradabilidad % (Ambiente) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos, la razón-F, que en este caso es igual a 3,48971, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Biodegradabilidad % (Ambiente) entre un nivel de TRATAMIENTOS y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

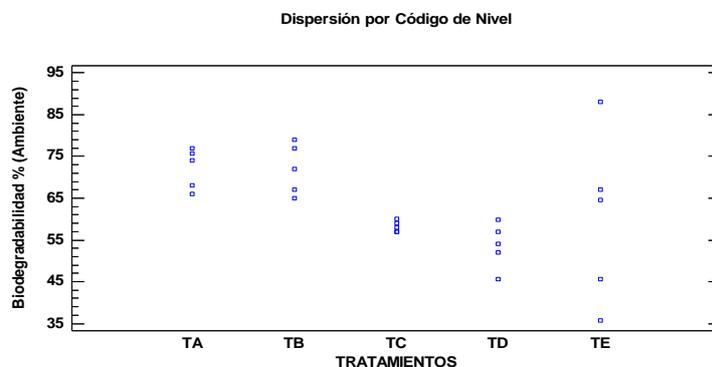


Figura 14-3: Dispersión por código de nivel en medio ambiente

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

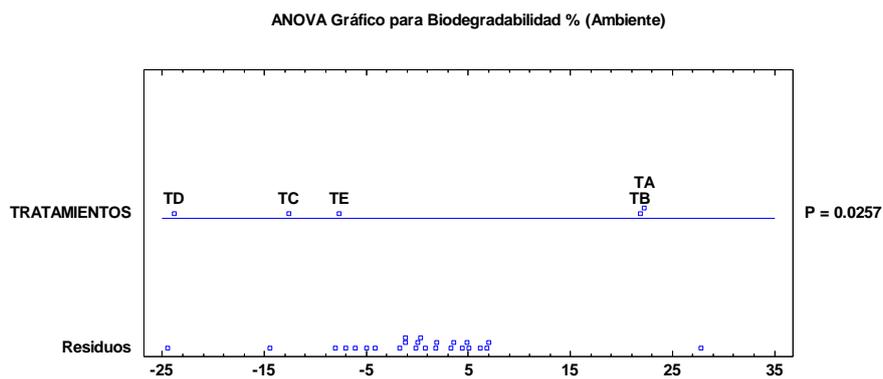


Figura 15-3: ANOVA biodegradabilidad medio ambiente

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

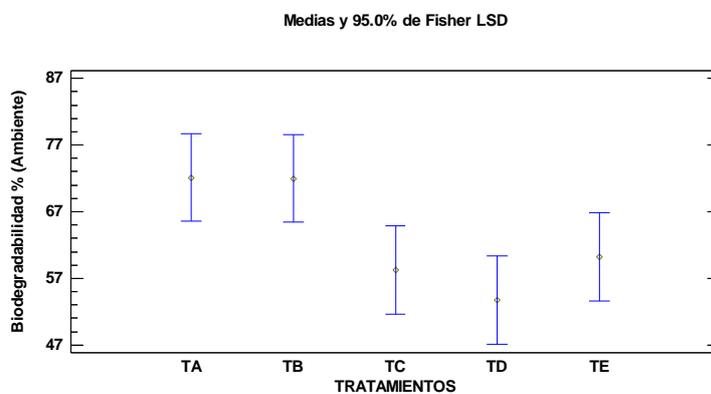


Figura 16-3: Medias biodegradabilidad medio ambiente

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.2.3. *Factibilidad económica*

Tabla 38-3: Insumos en la producción de almidón de camote

| Producto | Valor (\$) |
|-------------|------------|
| Camote | 12,00 |
| Agua | 5,00 |
| Implementos | 4,25 |
| Total | 21,25 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Tabla 39-3: Insumos en la producción de óxido de grafeno

| Producto | Valor (\$) |
|-------------------------|-------------------|
| Ácido sulfúrico | 1,38 |
| Ácido clorhídrico | 0,14 |
| Permanganato de potasio | 3,27 |
| Peróxido de hidrogeno | 0,50 |
| Grafito | 15,00 |
| Agua destilada | 5,00 |
| Total | 25,29 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

Tabla 40-3: Factibilidad económica

| Producto | Unidad de medida | Cantidad | Valor Total |
|------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|
| Camote | g | 2 | \$0,043 |
| Glicerina | g | 1,2 | \$0,018 |
| Agua destilada | mL | 40 | \$0,015 |
| Óxido de grafeno | mL | 0,8 | \$0,020 |
| TOTAL | | | \$0,095 |

Realizado por: Pérez, Brayan, 2022.

3.3. Discusión

- El óxido de grafeno tuvo un impacto positivo en la obtención del bioplástico siendo el reemplazado del ácido acético debido a que mejoró las propiedades mecánicas del bioplástico sin óxido de grafeno el cual tuvo una mejora del 9,9208% y con respecto al blanco realizado a nivel de laboratorio en un 316,94%.
- Las características fisicoquímicas y microbiológicas tanto del almidón como de la materia prima se mantuvieron dentro de los rangos que estipulan normas y estándares para la obtención de un almidón y bioplástico de calidad.
- La formulación óptima se definió para producir bioplástico a partir del almidón de camote y la adición de óxido de grafeno con las siguientes características almidón 2 g, glicerina 1,2 g, óxido de grafeno 0,8 mL la cual nos brinda una mejora con respecto al trabajo de Parra, 2019 por lo cual se evidencia una mejora que existe al usar el óxido de grafeno como reemplazado del ácido acético.
- En la validación de las láminas de plástico biodegradable obtenidas mediante su caracterización en base a las normas INEN 2635 (Método de Ensayo para las propiedades de

Tracción de Láminas Plásticas Delgadas) en la cual el mejor resultado se lo tiene del tratamiento TD dando como resultado 0,79143 MPa y para la norma ASTM D1653-93 (Método de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de películas de revestimiento orgánicas) cuya permeabilidad es de 4,6269 mm g/m² en lo que se evidencia la mejora del máximo esfuerzo pero hay una reducción de la característica de permeabilidad debido a la baja permeabilidad de vapor de agua presente en las características del grafeno.

- Se evaluó la factibilidad económica para reemplazar a los plásticos derivados del petróleo determinando que los costos de producción para una lámina de bioplástico de tamaño A4 (0,06237 m²) se necesita una inversión de \$ 0,1041 realizando una producción de un metro cuadrado equivale a \$1,67, mientras que en derivados del petróleo oscila los \$8 por m², esto es un indicador de que se podría realizar dicho proyecto teniendo en consideración a los mejores precios de todos los implementos utilizados.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en los ensayos fisicoquímicos fueron: pH 6,69 y 6,13; viscosidad 1476,33 cP y 48,97 cP; porcentaje de ceniza 0,1197% y 2,375%; solubilidad 8,567 y 28,984; para el almidón y materia prima respectivamente, y temperatura de gelatinización 67,67 °C.
- La mejor formulación para la producción de bioplástico de almidón de camote con adición de óxido de grafeno se obtuvo 2 g de almidón; 1,2 g de glicerina y 0,8 mL de óxido de grafeno,
- De acuerdo con las normas INEN 2635 y ASTM D1653-93 se obtuvieron valores de 0,79143 MPa y 4,6269 mm g/ m².
- Se determinó que la biodegradabilidad expuesta a la tierra, agua y ambiente fue en un periodo de 30, 15 y 90 días, en los cuales se degradaron un 31,2%; 65,1% y 88,7% respectivamente.
- Se evaluó la factibilidad económica que para la producción de un metro cuadrado de bioplástico es un valor de \$1,60.

RECOMENDACIONES

- Al momento de secar las láminas de bioplástico resultante si estas presentan humedad aún se puede dejar de 2 a 3 horas en una estufa con recirculación de aire a una temperatura de 60°C para obtener un mejor resultado en menos tiempo.
- Una vez se obtiene el almidón del camote se tuvo como desecho tanto la cascara como la pulpa del camote, recomiendo hacer un estudio para poder aprovechar esta materia para obtener hongos, harinas o productos derivados para obtener fertilizantes naturales.
- Durante el proceso de obtención del bioplástico evitar la formación de burbujas ya que esto hace que las láminas sean delgadas en la zona de las burbujas siendo el cual un material no óptimo para realizar las pruebas de tracción.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE Y GONZÁLEZ, J. A. 2015. *Síntesis y caracterización de capas conductoras de Oxido de grafeno (GO): propiedades vibracionales bajo condiciones extremas de presión y temperatura*, Cantabria, Vasco : Grupo de Altas presiones y espectroscopía (CITIMAC), Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, 2015, p., 16.

ANDERSON, R. *Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking*, 1969, *Cereal Science Today*, pp., 4-12.

AOAC. *Ash of flour*. Estados Unidos de América : Association of Analytical Chemists International (AOAC), 2000, Vol, 7 ed.

ARIAS, J. M. Obtención del almidón de la alocaia macrorrhiza y cuantificación del oxalato de calcio, [En línea] 2019, <http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/11>.

ARISTIZÁBAL, J. SÁNCHEZ, T. Y LORÍO, D. M. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*, Roma, Italia : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2007.

BASURTO, F. *Conocimiento actual del cultivo de Camote (Ipomoea batata (L.) Lam)*, 2015, Agro Productividad.

BHER, A. *Preparación y caracterización de almidón de mandioca termoplástico combinado con poli (ácido láctico), Estudio del comportamiento producido por el agregado de grafeno como material de carga*, 2019, Universidad Nacional de General San Martín, pp., 46-51.

COLOM, X. *Análisis estructural de óxidos de grafeno (GO) y óxidos de grafeno reducido (rGO)*, Cataluña, Barcelona : AFINIDAD LXXVII, 2020, pp., 168-169.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, [En línea] 2009. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/convolvulaceae/ipomoea-batatas/fichas/ficha.htm>.

CHARIGUAMÁN, J. A. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.), [En línea] 2015, <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>.

CHARRO, M. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*, 2015, Universidad Central del Ecuador.

FARÍAS, L. *Grafeno, el material del futuro*, México : Ciencia Cierta, 2021, pp., 2-5.

FOLQUER, F. *La batata (Camote), Estudio de la y su producción comercial*, Costa Rica. 1978.

GEIM, A. K. Y NOVOSELOV, K. S. *The rise of graphene*, 2007, Nature Materials, pp., 183-191.

GRACE, M. R. *Elaboración de la yuca, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*, Roma. 1977, p., 116.

HERNÁNDEZ, T. K. *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo- biodegradables (tesis)*, México. 2013. Universidad Nacional Autónoma de México.

HUMMERS, W. S. Y OFTEMAN, R. E. *Preparation of graphitic oxide*, s,l, : Journal American Chemistry Society, 1958, pp., 1339-1339.

ISI. *Determination of pH in starch and syrup*, Dinamarca : International Strach Institute (ISI), 1999, Laboratory Methods, Science Park.

ISI. *Determination of viscosity of starch by Brookfield*, Dinamarca: International Strach Institute (ISI), 2002, Laboratory methods, Science Park.

KARIMI-MALEH, H. *Surface amplification of pencil graphite electrode with polypyrrole and reduced graphene oxide for fabrication of a guanine/adenine DNA based electrochemical biosensors for determination of didanosine anticancer drug*, 2018, Appl, Surf, Sci, pp., 55-60.

KIM, H. ABDALA, A. A. Y MACOSKO, C. W. *Graphene/polymer nanocomposites*, *Macromolecules*, 2010, pp., 6515-6530.

LEDESMA-UGSIÑA, A. A. *Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables*, 2021, Dominio de las Ciencias, pp., 39-56.

LEE, S. *Deciphering bioplastic production*, 2006, Nature biotechnology, pp., 1227-1229.

LÓPEZ-AGUIRRE, J. F, POMAQUERO-YUQUILEMA, J C Y LÓPEZ-SALAZAR, J. L. *Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba*, 2020, Polo del Conocimiento, pp., 725-742.

MARCANO, D. C. Improved Synthesis of Graphene Oxide, [En línea] 2010.

OBLARÉ, J. *Recolección de Cultivos Herbáceos*, 2018, Cueva de Viera, p., 158.

PARRA, J. *Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (arracacia xanthorrhiza) y de camote (ipomoea batatas) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo (tesis)*, 2019, pp., 10-16.

PERDOMO, G. A. *PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE*, 2002, Revista Iberoamericana Polímeros, pp., 1-13.

RUIZ-AVILÉS, G. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*, 2006, Ingeniería y Ciencia, pp., 5-28.

SEGURA, D. NOGUEZ, R. Y ESPÍN, G. *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*, 2007, Biotecnología, pp., 361-372.

SESSINI, V. Y PEPONI, L. Las diferentes caras del exilio, *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, [En línea] 2017, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6038279>.

STAUDENMAIER, L. *Verfahren zur Darstellung der Graphitsäure*, s.l.: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 1898, pp., 1481-1487.

SURIYAMONGKO, P. *Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants*, 2007, Biotechnol Adv, pp., 148-175.

TOBARRA, A. Y DURÁN, M. *Instrucciones de uso Medidor de humedad para tierra*, 2018, PCE Ibérica, pp., 2-6.

TUBON, G. Physical and chemical treatments to prepare graphene materials and their related applications, [En línea] 2015, <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UN>.

WADE, L. *Química Orgánica*, México : PEARSON EDUCATION, 2011, Vol, I.

WHISTLER, R. L. Y BEMILLER, J. N. *Carbohydrate chemistry for food scientists* , 1997, St Paul: Eagan Press.

ZELLER, M. A. *Bioplastics and their thermoplastic blend from Spirulina and Chlorella microalgae*, 2013, J, Appl, Polym, Sci, pp., 3263-3275.

ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CAMOTE POR VÍA HÚMEDA



a.



b.



c.



d.

| NOTAS: | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CAMOTE POR VÍA HÚMEDA | | |
|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| a. Pesaje y troceado de la materia prima | b. Trituración de la materia prima | c. Etapa de filtración | d. Etapa de decantación, | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar | 1 |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Por calificar | | | | | | |

ANEXO B: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CAMOTE POR VÍA HÚMEDA



e.



f.



g.



h.

| | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|--------------|
| NOTAS: | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | EXTRACCION DEL ALMIDON DE CAMOTE POR VIA HUMEDA | | |
| e. Etapa de secado del almidón, f. Molienda, g. Tamizaje, h. Pesaje de almidon obtenido, | | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar | | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| | | | | | 1 | 1:1 | 2022/03/03 |

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA



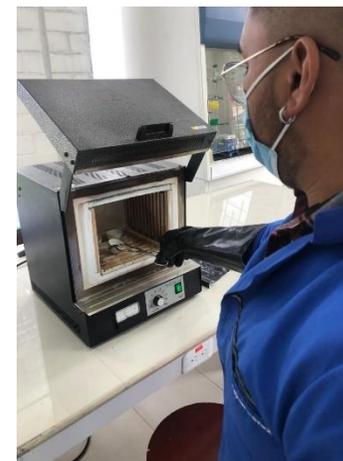
i.



j.



k.



l.

| NOTAS: | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | CARACTERIZACION DEL ALMIDON Y LA MATERIA PRIMA | | |
|--------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|--------------|
| i. | Prueba de temperatura de gelatinización | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| j. | Prueba de humedad | <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar | | 1 | 1:1 | 2022/03/03 |
| k. | Prueba de viscosidad | <input type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Por calificar | | | | |
| l. | Prueba de cenizas | | | | | | |

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA



m.



n.



o.



p.

| NOTAS: | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | CARACTERIZACION DEL ALMIDON Y LA MATERIA PRIMA | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|------------|
| m. Prueba de humedad n. Prueba de cenizas o. Prueba de viscosidad p. Prueba de pH | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| | | | 1 | 1:1 | 2022/03/03 |

ANEXO E: OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO



q.



r.



s.



t.

| NOTAS: | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | OBTENCION DE OXIDO DE GRAFENO | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|------------|
| | | | | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| q. Síntesis de óxido de grafeno r. Lavado con HCl y agua, s. Decantado del grafito Sobrante, t. Secado de la solución, | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar | | | 1 | 1:1 | 2022/03/03 |

ANEXO F: ELABORACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE



u.



v.



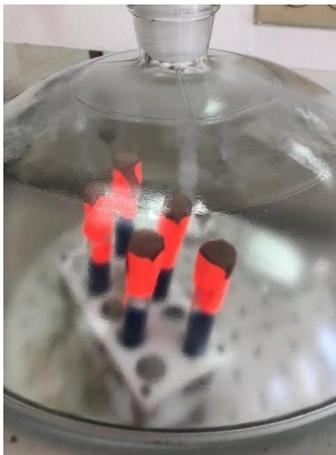
w.

| NOTAS: | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | ELABORACION DEL PLASTICO BIODEGRADABLE | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|---|
| u. Elaboración del bioplástico, v. Secado del bioplástico, w. Bioplástico resultante, | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar | LÁMINA | | ESCALA | FECHA | |
| | | | | | | | 1 |

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



x.



y.



z.

| NOTAS: | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLASTICO | | |
|--------|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------|------------|
| x. | Medida del espesor | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| y. | Prueba de permeabilidad | <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar | | 1 | 1:1 | 2022/03/03 |
| z. | Prueba de solubilidad | <input type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Por calificar | | | | |

ANEXO H: CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



aa.



bb.



cc.



dd.

| NOTAS: | CATEGORIA DEL DIAGRAMA: | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | ELABORACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|------------|
| aa. Prueba de tracción bb. Prueba de biodegradabilidad en tierra, cc. Prueba de biodegradabilidad en agua, dd. Prueba de biodegradabilidad al ambiente. | <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar | ELABORADO POR: PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| | | | 1 | 1:1 | 2022/03/03 |

ANEXO I: PRUEBAS DE TRACCIÓN

Forma: Plana

| Unidades | Espesor | Anchura | Longitud calibrada |
|----------|---------|---------|--------------------|
| T1-1 | mm | 15.8000 | 41.2000 |

| Nombre Parametro | M.Elastico | PSF_Carga | PSF_Despl | PSF_Esfuerzo | PSF_Deformacion |
|---------------------|------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| Unidades | 1, 2 N | 0,1 %FS | 0,1 %FS | 0,1 %FS | 0,1 %FS |
| Acep./Rech. | 0, 0 | N | mm | MPa | % |
| T1-1 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Media | -- | -- | -- | -- | -- |
| Desviación Estándar | -- | -- | -- | -- | -- |
| Maximo | -- | -- | -- | -- | -- |
| Minimo | -- | -- | -- | -- | -- |
| Rango | -- | -- | -- | -- | -- |
| Mediana | -- | -- | -- | -- | -- |
| Media JIS | -- | -- | -- | -- | -- |
| Coef Variacion | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3 Sigma | -- | -- | -- | -- | -- |

| Nombre Parametro | PIF_Carga | PIF_Despl | PIF_Esfuerzo | PIF_Deformacion | Energia |
|---------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|---------|
| Unidades | N | mm | MPa | % | J |
| T1-1 | -- | -- | -- | -- | 0,0059 |
| Media | -- | -- | -- | -- | 0,0059 |
| Desviación Estándar | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| Maximo | -- | -- | -- | -- | 0,0059 |
| Minimo | -- | -- | -- | -- | 0,0059 |
| Rango | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| Mediana | -- | -- | -- | -- | 0,0059 |
| Media JIS | -- | -- | -- | -- | 0,0059 |
| Coef Variacion | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| 3 Sigma | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |

| Nombre Parametro | Max_Carga | Max_Despl | Max_Esfuerzo | Max_Deformacion | Rotura_Carga |
|---------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| Unidades | N | mm | MPa | % | N |
| T1-1 | 68500 | 4,18667 | 21677 | 10,1618 | 68500 |
| Media | 68500 | 4,18667 | 21677 | 10,1618 | 68500 |
| Desviación Estándar | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Maximo | 68500 | 4,18667 | 21677 | 10,1618 | 68500 |
| Minimo | 68500 | 4,18667 | 21677 | 10,1618 | 68500 |
| Rango | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Mediana | 68500 | 4,18667 | 21677 | 10,1618 | 68500 |
| Media JIS | 68500 | 4,18667 | 21677 | 10,1618 | 68500 |
| Coef Variacion | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 Sigma | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

ee.

Forma Plana

| Unidades | Espesor | Anchura | Longitud calibrada |
|----------|---------|---------|--------------------|
| TB-2 | mm | 16.6000 | 39.2000 |

| Nombre Parametro | M.Elastico | PSF_Carga | PSF_Despl | PSF_Esfuerzo | PSF_Deformacion |
|---------------------|------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| Unidades | 10, 20 N | 0,1 %FS | 0,1 %FS | 0,1 %FS | 0,1 %FS |
| Acep./Rech. | 0, 0 | N | mm | MPa | % |
| TB-2 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Media | -- | -- | -- | -- | -- |
| Desviación Estándar | -- | -- | -- | -- | -- |
| Maximo | -- | -- | -- | -- | -- |
| Minimo | -- | -- | -- | -- | -- |
| Rango | -- | -- | -- | -- | -- |
| Mediana | -- | -- | -- | -- | -- |
| Media JIS | -- | -- | -- | -- | -- |
| Coef Variacion | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3 Sigma | -- | -- | -- | -- | -- |

| Nombre Parametro | PIF_Carga | PIF_Despl | PIF_Esfuerzo | PIF_Deformacion | Energia |
|---------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|---------|
| Unidades | N | mm | MPa | % | J |
| TB-2 | -- | -- | -- | -- | 0,0088 |
| Media | -- | -- | -- | -- | 0,0088 |
| Desviación Estándar | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| Maximo | -- | -- | -- | -- | 0,0088 |
| Minimo | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| Rango | -- | -- | -- | -- | 0,0088 |
| Mediana | -- | -- | -- | -- | 0,0088 |
| Media JIS | -- | -- | -- | -- | 0,0088 |
| Coef Variacion | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| 3 Sigma | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |

| Nombre Parametro | Max_Carga | Max_Despl | Max_Esfuerzo | Max_Deformacion | l.Posicion |
|---------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|------------|
| Unidades | N | mm | MPa | % | 10, 20 N |
| TB-2 | 2,02750 | 6,96167 | 40713 | 17,7594 | -- |
| Media | 2,02750 | 6,96167 | 40713 | 17,7594 | -- |
| Desviación Estándar | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | -- |
| Maximo | 2,02750 | 6,96167 | 40713 | 17,7594 | -- |
| Minimo | 2,02750 | 6,96167 | 40713 | 17,7594 | -- |
| Rango | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | -- |
| Mediana | 2,02750 | 6,96167 | 40713 | 17,7594 | -- |
| Media JIS | 2,02750 | 6,96167 | 40713 | 17,7594 | -- |
| Coef Variacion | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | -- |
| 3 Sigma | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | -- |

ff.

Forma Plana

| Unidades | Espesor | Anchura | Longitud calibrada |
|----------|---------|---------|--------------------|
| TC-4 | mm | 17.4000 | 36.4000 |

| Nombre Parametro | M.Elastico | PSF_Carga | PSF_Despl | PSF_Esfuerzo | PSF_Deformacion |
|---------------------|------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| Unidades | 1, 2 N | 0,1 %FS | 0,1 %FS | 0,1 %FS | 0,1 %FS |
| Acep./Rech. | 0, 0 | N | mm | MPa | % |
| TC-4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Media | -- | -- | -- | -- | -- |
| Desviación Estándar | -- | -- | -- | -- | -- |
| Maximo | -- | -- | -- | -- | -- |
| Minimo | -- | -- | -- | -- | -- |
| Rango | -- | -- | -- | -- | -- |
| Mediana | -- | -- | -- | -- | -- |
| Media JIS | -- | -- | -- | -- | -- |
| Coef Variacion | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3 Sigma | -- | -- | -- | -- | -- |

| Nombre Parametro | PIF_Carga | PIF_Despl | PIF_Esfuerzo | PIF_Deformacion | Energia |
|---------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|---------|
| Unidades | N | mm | MPa | % | J |
| TC-4 | -- | -- | -- | -- | 0,0045 |
| Media | -- | -- | -- | -- | 0,0045 |
| Desviación Estándar | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| Maximo | -- | -- | -- | -- | 0,0045 |
| Minimo | -- | -- | -- | -- | 0,0045 |
| Rango | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| Mediana | -- | -- | -- | -- | 0,0045 |
| Media JIS | -- | -- | -- | -- | 0,0045 |
| Coef Variacion | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |
| 3 Sigma | -- | -- | -- | -- | 0,0000 |

| Nombre Parametro | Max_Carga | Max_Despl | Max_Esfuerzo | Max_Deformacion | Rotura_Carga |
|---------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| Unidades | N | mm | MPa | % | N |
| TC-4 | 1,26000 | 2,86267 | 36207 | 7,86447 | 54000 |
| Media | 1,26000 | 2,86267 | 36207 | 7,86447 | 54000 |
| Desviación Estándar | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Maximo | 1,26000 | 2,86267 | 36207 | 7,86447 | 54000 |
| Minimo | 1,26000 | 2,86267 | 36207 | 7,86447 | 54000 |
| Rango | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Mediana | 1,26000 | 2,86267 | 36207 | 7,86447 | 54000 |
| Media JIS | 1,26000 | 2,86267 | 36207 | 7,86447 | 54000 |
| Coef Variacion | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 Sigma | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

gg.

NOTAS:

- ee. Resultados de prueba de tracción TA-1
- ff. Resultados de prueba de tracción TB-2
- gg. Resultados de prueba de tracción TC-4,

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

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

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA

DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

ELABORADO POR:
PEREZ BONILLA BRAYAN JOSE

PRUEBAS DE TRACCIÓN

| LÁMINA | ESCALA | FECHA |
|--------|--------|------------|
| 1 | 1:1 | 2022/03/03 |