



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CARRERA QUÍMICA AMBIENTAL**



**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADA EN  
QUÍMICA AMBIENTAL**

Biopolímero a partir de almidón de cáscara de plátano *Musa Sapientum* mediante tratamiento químico, Departamento de Química, UNAN-Managua, Julio 2021-Marzo del 2022

**Autores:**

Br: Vanessa del Carmen González Martínez

Br: Virmara Lisbeth Reyes Torrez

**Tutor:**

MSc. Jorge Esquivel Quezada

**Asesor metodológico:**

MSc. Indira Mejía Cruz

Managua, Nicaragua, marzo del 2022

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis está dedicada:*

### ***A Dios***

*Por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los  
anhelos más deseados, por darme salud y fortaleza en todo momento.*

### ***A mis familiares***

*A mi madre, Urania del Carmen Martínez que con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido  
llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía,  
por haberme mostrado el valor del trabajo duro, por siempre haberme apoyado en todo el  
transcurso de mi vida y haberme demostrado que siempre se puede salir adelante hasta en las  
circunstancias más difíciles y el de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.  
A mi hermano, José Antonio González Martínez que ha sido y siempre será un gran ejemplo a  
seguir, que los sueños siempre se logran con mucho esfuerzo y dedicación, por tu creencia  
inquebrantable que puedo lograr todo lo que me proponga, gracias por confiar en mí. A mi abuela,  
Esperanza del Socorro Leiva por enseñarme el camino de la vida, Gracias por tus consejos y  
apoyo incondicional que siempre me brindaste para ser una persona de bien.*

*Vanessa del Carmen González Martínez*

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia, sabiduría y sobre todo una excelente familia.*

### ***A mis padres***

*Marvin Reyes y Margine Torrez, ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño por cumplir mis metas y todo ello de una manera desinteresada y llena de amor, especialmente a mi madre por mostrarme siempre su amor y estar dispuesta siempre a escucharme y ayudarme en todo momento.*

### ***Docentes***

*A mi tutor MSc. Jorge Esquivel Quezada y mi asesora MSc. Indira Mejía Cruz por el tiempo y esfuerzo que dedicaron al compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso de la presente monografía.*

*De igual manera agradezco de todo corazón las enseñanzas brindadas por todos y cada uno de mis docentes que fueron parte de mi formación adámica.*

*Virgara Lisbeth Reyes Torrez*

*Virgara Lisbeth Reyes Torrez*

## **AGRADECIMIENTOS**

*El amor recibido, la dedicación y la paciencia por la que cada día se preocupaban nuestros padres por el avance y desarrollo de esta tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo.*

*Al concluir una etapa maravillosa de nuestra vida extendemos un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a nosotras caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza, y por cada día confiar y creer en nuestras expectativas. Esta mención en especial para Dios, nuestros padres, hermanos, inmensamente gracias por demostrarnos que “El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere”*

*Nuestra gratitud, también a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua por habernos permitido formar en ella, y todos los conocimientos y experiencias que nos han otorgado.*

*Agradecemos inmensamente a nuestro tutor Jorge Esquivel por su cariño, disposición e interés que siempre mostro; y sobre todo por su apoyo incondicional durante todo este proceso. De igual manera a la MSc. Indira Mejía Cruz que además de ser la asesora metodológica, es una excelente maestra y por supuesto por estar siempre en todo momento, brindando todo su apoyo y motivación. A todos los docentes que fueron parte de mi formación académica que me enseñaron el seguir enfrentando nuevos retos en mi vida laboral.*

*Vanessa del Carmen González Martínez*

*Virmara Lisbeth Reyes Torres*

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torres*

2022: “Vamos por más Victorias Educativas”

## **CARTA AVAL DEL TUTOR**

*Por este medio hago constar que el trabajo de monografía de grado titulado “**Biopolímero a partir de almidón de cáscara de plátano Musa Sapientum mediante tratamiento químico, Departamento de Química, UNAN-Managua, Julio 2021-Marzo del 2022**”, está listo para ser pre-defendido por las Bachilleres **Vanessa del Carmen González Martínez y Virmara Lisbeth Reyes Tórrez**, para optar al grado de **Licenciada en Química Ambiental**.*

*Doy fe que la presente investigación es propiedad intelectual fidedigna y original, además de han cumplido con las disposiciones y requisitos académicos de acuerdo al Capítulo III del Título IV del Reglamento del Régimen Académico Estudiantil para optar al Título de Licenciatura en **Química Ambiental**.*

*Dado en la ciudad de Managua, a los 28 días del mes de marzo del año 2022.*

---

*MSc. Jorge Esquivel Quezada  
Tutor  
CIB  
UNAN-Managua*

---

*MSc. Indira Mejía Cruz  
Asesor Metodológico  
Departamento de Química  
UNAN-Managua*

## **RESUMEN**

Este estudio, se llevó a cabo, con la finalidad de aprovechar las cáscaras de plátano *Musa Sapientum* como materia prima, para elaborar biopolímero natural (un material biodegradable), a fin de proporcionar a estas un valor agregado. De manera que, para la elaboración del biopolímero se utilizó una metodología experimental: La elaboración inició con la recolección de la materia prima, selección de las cáscaras, lavado, rayado del endocarpio, inmersión en ácido cítrico, molienda, tamizado, mezclado y adición de yodo, a fin de confirmar la presencia de almidón en la harina. Luego se agrega glicerina (agente plastificante), ácido acético (agente modificador) y agua destilada; a diferentes temperaturas, posteriormente, se lleva a secado a temperatura ambiente a 25 °C, durante 24 horas y secado en horno de convección a 60 °C, durante 12 horas, el producto final obtenido es el biopolímero en forma de lámina delgada de color café oscuro. Al producto final se le determinó parámetros de calidad, dado que, el mejor experimento presenta los siguientes valores: contenido de humedad 13,73%, biodegradable durante 30 días en agua, suelo 60 días e intemperie; 60 días. Espesor del biopolímero 3,08 mm en promedio y densidad 1,24 g/cm<sup>3</sup>.

***Palabras claves:*** biopolímero, material biodegradable, cáscara de plátano, contenido de humedad.

## INDICE

<b>CAPITULO I</b> .....	viii
1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
<b>CAPITULO II</b> .....	1
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Origen del plátano.....	6
2.1.2 Producción del plátano.....	7
2.1.2.1 Plátano en Nicaragua.....	7
2.1.2.2 Aporte al dinamismo económico de nicaragua.....	7
2.1.2.3 Mercado Nacional.....	8
2.1.3 Generalidades del plátano.....	9
2.1.4 Taxonomía del plátano.....	10
2.1.5 Morfología.....	10
2.1.5.1 Variedades de una platanera.....	13
2.1.6 Propiedades funcionales del plátano.....	14
2.1.7 Propiedades funcionales de la cáscara.....	14
2.1.8 Composición química del plátano.....	15
2.1.9 Almidón.....	15
2.1.9.1 Polisacáridos constituyentes del almidón.....	16
2.1.9.2 Amilosa.....	16
2.1.9.3 Amilopectina.....	17
2.1.9.4 Propiedades del almidón.....	18
2.1.9.5 Tipos de almidón.....	20
2.1.9.6 Usos industriales del Almidón.....	21
2.1.10 El almidón como materia prima para bioplástico.....	21

2.1.11	Extracción de almidón .....	22
2.1.12	Polímeros .....	22
2.1.12.1	Clasificación de polímeros .....	23
2.1.12.2	Tipos de polimerización .....	23
2.1.12.3	Contaminación ambiental por polímeros.....	24
2.1.13	Plásticos biodegradables.....	24
2.1.14	Clasificación de los bioplásticos .....	25
2.1.15	Plastificantes.....	26
2.1.15.1	El glicerol .....	26
2.1.15.2	El ácido acético.....	26
2.2	Antecedentes .....	27
2.2.1	Estudios previos a nivel nacional .....	27
2.2.2	Estudios previos a nivel latinoamericano .....	27
2.3	Hipótesis .....	29
<b>CAPITULO III</b>	.....	<b>7</b>
3.1	Diseño metodológico .....	29
3.1.1	Descripción del ámbito de estudio y tecnológico.....	29
3.1.2	Tipo de Estudio.....	30
3.1.3	Población y muestra.....	31
3.1.3.1	Población.....	31
3.1.3.2	Muestra .....	31
3.1.3.3	Criterios de inclusión.....	31
3.1.3.4	Criterios de exclusión .....	31
3.2	Variables y Operacionalización .....	31
3.2.1	Variables independientes .....	31
3.2.2	Variables dependientes .....	32
3.2.3	Operacionalización de variables .....	32
3.3	Materiales y método.....	33
3.3.1	Materiales para recolectar la información .....	33
3.3.2	Material para procesar la información.....	34
3.3.2.1	Materia prima, equipos, materiales de laboratorio, reactivos e insumos .....	34

3.3.3	Metodología analítica .....	36
3.3.3.1	Recolección de la materia prima (cáscaras de plátano) .....	36
3.3.3.2	Lavado de las cáscaras.....	36
3.3.3.3	Rayado del Endocarpio.....	36
3.3.3.4	Inmersión en ácido cítrico .....	37
3.3.3.5	Secado del endocarpio .....	37
3.3.3.6	Molienda.....	38
3.3.3.7	Tamizado .....	38
3.3.3.8	Mezclado .....	38
3.3.3.9	Secado.....	38
3.3.3.10	Diagrama de flujo de la elaboración de biopolímero .....	39
3.3.4	Procedimientos .....	41
3.3.4.1	Solución Antipardeamiento .....	41
3.3.4.2	Comparación del tratamiento de antipardeamiento .....	41
3.3.4.3	Rendimiento del almidón.....	42
3.3.4.4	Determinación del contenido de humedad del biopolímero .....	43
3.3.4.5	Determinación de la densidad del biopolímero .....	43
3.3.4.6	Determinación de Espesor .....	44
3.3.4.7	Biodegradabilidad a la intemperie .....	44
3.3.4.8	Biodegradabilidad en el Agua .....	45
<b>CAPITULO IV</b>	.....	<b>31</b>
4.1	Análisis de resultados .....	40
4.1.1	Rendimiento del almidón .....	40
4.1.2	Elaboración del biopolímero a partir del almidón obtenido.....	41
4.2	Discusión de resultados físicos y químicos .....	43
4.2.1	Determinación del % de humedad del biopolímero .....	43
4.2.2	Determinación de densidad del biopolímero.....	45
4.2.3	Determinación de Espesor.....	46
4.2.4	Determinación de biodegradabilidad .....	48
4.2.4.1	Biodegradabilidad en el suelo.....	48
4.2.4.2	Biodegradabilidad a la intemperie .....	49

4.2.4.3 Biodegradabilidad en el agua .....	50
<b>CAPITULO V</b> .....	43
5.1 Conclusiones.....	52
5.2 Recomendaciones .....	53
5.3 Glosario.....	54
5.4 Bibliografía .....	55
5.5 Anexos .....	62

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación taxonómica del plátano.....	10
Tabla 2.	Coordenadas de los sitios de toma de muestra .....	29
Tabla 3.	Operacionalización de variables.....	32
Tabla 4.	Materiales, equipos, materia prima, insumos y reactivos.....	34
Tabla 5.	Temperatura utilizada para la elaboración del biopolímero .....	41
Tabla 6.	Concentraciones para elaborar el biopolímero .....	42
Tabla 7.	Porcentaje de biodegradación a la intemperie .....	49
Tabla 8.	Pruebas de biodegradabilidad del biopolímero en el agua .....	51

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área sembrada, en las principales zonas de cultivo en (%).....	8
Figura 2. Desarrollo de una planta de plátano .....	9
Figura 3. Descripción general de una platanera.....	11
Figura 4. Conjunto de plantas en fructificación.....	12
Figura 5. Estructura química de la Galocatequina .....	15
Figura 6. Estructura química de la Amilosa.....	16
Figura 7. Estructura química de la Amilopectina .....	18
Figura 8. Ubicación geográfica del comedor central de la Unan Managua.....	30
Figura 9. Elaboración del Biopolímero.....	39
Figura 10. Comparación del endocarpio .....	42
Figura 11. Representación gráfica del porcentaje de humedad .....	43
Figura 12. Determinación del porcentaje de humedad .....	44
Figura 13. Representación gráfica de la densidad.....	45
Figura 14. Determinación de Densidad.....	46
Figura 15. Representación gráfica del espesor.....	47
Figura 16. Determinación de espesor.....	48
Figura 17. Determinación del porcentaje de biodegradabilidad a los 60 días en el suelo .....	49
Figura 18. Determinación del porcentaje de biodegradabilidad a los 60 días en la intemperie...	50
Figura 19. Biodegradabilidad a los 30 días en agua .....	52

## **LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS**

**g/cm<sup>3</sup>:** unidades de densidad (masa por volumen)

**mm:** unidad de medida (milímetro)

**PLA:** ácido poli láctico, se deriva de materias primas naturales renovables, como el maíz, y pertenece a los poliésteres como un polímero sintético.

**PGA:** Poli-ácidos glicoles

**PCL:** Policaprolactora

**PHA:** Polihidroxicanoato

**PHB:** Poli-3-hidroxiutarato

**LOUI:** Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales

**RPM:** Revoluciones por minuto

**kg:** unidad de peso (kilogramo)

**Lb:** unidad de peso (Libra)

**oz:** Es una medida de volumen (onza líquida)

**AOAC (siglas en ingles):** Association of Official Analytical Chemists

**%RSD:** porcentaje de desviación porcentual relativa calculada a partir de la desviación estándar entre la media de las variables.

**SD:** Desviación estándar, mide la medida de dispersión de aquellas observaciones que son inferiores al valor esperado de la variable.

**ADN:** ácido desoxirribonucleico

**ABB:** Musa Balbisiana

**AAB:** Musa Acuminata

**LDPE:** Plástico terephthalate de polietileno.

## CAPITULO I



BIOPOLIMERO

## **1 Introducción**

Las musáceas (plátano, guineo y banano) son cultivos que prosperan en ambientes tropicales, poseen muy buena aceptación en el mercado de frutas frescas y agroindustria, razón que les provee alta importancia económica y de seguridad alimentaria en los países centroamericanos. La siembra de las musáceas en Nicaragua, son actividades generadoras de empleo desde la época de los 50's con el auge del banano. (Blanco Beteta & Carcache Vega, 2007)

Por otro lado, se sabe que las grandes cantidades de plástico no degradable, han generado una contaminación ambiental agravante, puesto que, gran parte de este, se acumula en el medio ambiente, aproximadamente 25 millones de toneladas/año y aún no se conoce con exactitud el tiempo de degradación. (García Vásquez, 2017). El reto está en desarrollar la tecnología necesaria, para adaptar los productos a procesos y aplicaciones reales, que sean más competitivas y se transformen una realidad en el mercado. (Remar, 2011)

La fabricación y utilización de plásticos biodegradables a base de la cáscara de plátano, tendría un gran impacto ecológico y sería de gran beneficio para disminuir los problemas de contaminación. Al dar un buen uso al aprovechamiento a los residuos del plátano, se generan alternativas nuevas agroindustriales, garantizando el trabajo, incrementando la economía y mejorando la calidad de vida de la población. (García Vásquez, 2017)

Un biopolímero elaborado a partir de almidón de plátano presenta características similares a los elaborados a partir de derivados del petróleo, dentro de las ventajas del biopolímero se cuenta: es completamente biodegradable y no tóxico, su degradación se lleva a cabo como un material de compostaje (Castillo, Ruth; Escobar, Eliasury; Fernández, Dianeth; Gutiérrez, Ramón, 2015) Como resultado, en este estudio se elaboró un biopolímero a partir de almidón de la cáscara de plátano mediante un tratamiento químico.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La Contaminación Ambiental por años viene siendo un factor determinante en la salud pública de las personas; a consecuencia de los gases contaminantes, residuos sólidos, se ha incrementado enormemente debido a una falta de atención por parte de las autoridades y concientización por parte de los pobladores.

Uno de los desechos sólidos contaminantes es la cáscara del plátano, el cual representa aproximadamente el 30% de su peso y es comúnmente desechada en la basura orgánica y enviada junto con los demás perecederos generando residuos orgánicos que al descomponerse producen gas metano que afecta el medio ambiente y propicia el calentamiento global debido a que provoca el efecto invernadero.

Otro contaminante es la mala gestión de los residuos plásticos. El 14% de toda la basura plástica se recicla, por lo cual el 86% restante se almacena en vertederos, se quema contribuyendo al efecto invernadero (García Astillero, 2019). Debido a eso están provocando la proliferación de botaderos en la vía pública, causando estancamientos, mal hedor, contaminación del aire, aguas subterráneas, afectaciones al paisaje y en algunos casos causando problemas de salud a la población.

Los plásticos son versátiles y de bajo costo por lo que se han convertido en materiales insustituibles. No todos los plásticos se pueden reciclar, es decir, no pueden ser una materia prima otra vez, por lo que algunas mezclas plásticas son muy complejas y la tecnología para separarlos es muy cara y escasa. A causa de esto se han buscado alternativas para sustituir a los polímeros sintéticos por fuentes vegetales creando biopolímeros plásticos.

Por lo tanto, la presente investigación nos conlleva a la búsqueda de alternativas de solución, en donde se pretende desarrollar un biopolímero a escala de laboratorio, dando uso a residuos orgánicos como es la cáscara de plátano, un residuo que es fuente potencial de almidón y puede convertirse en un producto con valor agregado, siendo esta una variante al aprovechamiento de estos residuos en su utilización como materia prima.

### **1.3 Justificación**

En la actualidad, la abundancia de materiales plásticos ha demostrado un rápido crecimiento, debido a sus buenas características física química y su bajo costo, además, presenta el siguiente inconveniente, perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo, y al acumularse están generando gran contaminación, sin embargo, existen muchas alternativas que ayudan a controlar los efectos de la contaminación a nivel mundial.

Puesto que, la cáscara de plátano *Musa Sapientum*, considerada un residuo orgánico, es la materia prima utilizada en esta investigación, la razón de su elección corresponde a que esta posee, un alto grado de polisacáridos, esenciales para la elaboración de biopolímero natural. El plátano es rico en almidón, sin embargo, los plátanos verdes contienen mayor cantidad de almidón que los plátanos maduros, esto se debe a que los almidones se transforman en azúcares, también es rica en potasio, fibra, magnesio B6 y hasta vitamina C.

Por lo anterior, se propone la elaboración de un biopolímero, material biodegradable que sería el sustituto o alternativa respecto del plástico común, así como de los productos contaminantes derivados del petróleo, este biopolímero obtenido, a partir de la harina de las cáscaras del plátano, presenta una fácil descomposición en el medio ambiente, sin generar impactos negativos al mismo. Por tal razón, esta investigación contribuye con la problemática ambiental sintetizando y caracterizando un biopolímero, a fin de que, este pueda ser útil, para crear diversos productos. Cabe destacar que, la presente investigación emplea la importancia de obtener un material biodegradable de bajo costo.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **1.4.1 Objetivo general**

Elaborar un biopolímero a partir del almidón de la cáscara de plátano (*Musa Sapientum*) mediante un tratamiento químico, Departamento de Química de la UNAN-Managua, Julio 2021-Marzo del 2022

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ✓ Extracción de almidón *Musa Sapientum*
- ✓ Calcular el rendimiento del proceso de extracción del almidón *Musa Sapientum*
- ✓ Transformar el almidón de *Musa Sapientum* en un biopolímero a escala de laboratorio
- ✓ Determinar parámetros de calidad del biopolímero tales como: densidad, humedad, espesor, mediante análisis físicos y tiempo de degradación.

## CAPITULO II



**BIOPOLIMERO**

## **2.1 Marco teórico**

### **2.1.1 Origen del plátano**

Los bananos y los plátanos tuvieron su origen en el Sudeste Asiático, en el llamado archipiélago Malayo o región Indo Malaya en el Asia meridional, y en una amplia región que se extendería desde el noreste de India al norte de Australia. Desde Indonesia se propagaron hacia el sur y el oeste, alcanzando Hawái y la Polinesia por etapa. (Amador Suárez & Castillo, 2014)

Por tanto, la especie llegó a las Islas Canarias en el siglo XV, pero no lo introdujeron hasta el siglo XX en toda Europa de las plantaciones de África Occidental y Las Canarias. Los colonizadores portugueses y españoles lo llevarían a Sudamérica en el siglo XVI. Respecto al cultivo comercial se inicio en las Canarias a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX. En el Siglo XX se convierte en uno de los más cultivados en Centro y Sur América, siendo uno de los principales renglones de exportación en los países tropicales y convirtiéndose en el cuarto cultivo a nivel mundial. (Amador Suárez & Castillo, 2014)

Los plátanos lograron llegar a África por dos vías:

- ✓ India- Golfo Pérsico- Arabia- África Oriental
- ✓ Indonesia – Madagascar- África Oriental.

Se extendieron por el resto de África, siendo posible que los tipos introducidos a las Islas Canarias y traídos después a América vinieran de Guinea, África Occidental.

El cultivo del plátano y el guineo en los trópicos de América para la exportación a Estados Unidos y Europa ha sido mucho más intenso e importante que la producción para la exportación en su área de origen. En América tropical se ha avanzado más en el estudio de la genética y la filosofía del plátano. (CEDAF, 2000)

## **2.1.2 Producción del plátano**

### **2.1.2.1 Plátano en Nicaragua**

El plátano tiene un gran alcance significativo en la economía nicaragüense. En Nicaragua, el plátano es uno de los productos básicos de la dieta familiar; tanto su cultivo como producción son actividades generadoras de ingresos en empleos. Por tanto las exportaciones nicaragüenses de plátano están dirigidas al mercado centroamericano (Costa Rica, El Salvador y Honduras), Puerto Rico y Estados Unidos. ( (MAGFOR), (IICA), 2004)

En el cultivo de las musáceas, propiamente como el plátano y guineo, se considera una actividad rentable, aún con los bajos rendimientos y la estacionalidad de la producción (período de lluvias) que acompañan a los agricultores tradicionales con inversiones reducidas y con manejo poco tecnificado, de igual manera es considerado de alta rentabilidad para los agricultores plataneros situados en explotaciones con manejo semi tecnificado que se caracterizan por obtención de cosecha durante el año. (Briones Martínez , 2011)

### **2.1.2.2 Aporte al dinamismo económico de Nicaragua**

El Ministerio de Agricultura (MAG) informó que el ciclo agrícola 2019-2020 se comporta de acuerdo a las expectativas de los productores que han sembrado sus parcelas, destacando la mayor cantidad en la siembra y producción de plátanos.

Por consiguiente el 87 mil 489 productores y productoras, han sido atendidas a nivel nacional en distintos encuentros, donde se han compartido las tecnologías desarrolladas con la finalidad de avanzar en la producción del país. El plátano sigue en aumento, llegando a los mercados de toda Nicaragua y siendo exportado de manera constante, aportando mayores ingresos a la economía familiar y nacional. (MAG, 2019)

Por lo tanto en las zonas del pacífico existen unas diez mil fincas dedicadas a este rubro. Existe un área establecida de 31 mil 200 manzanas, de las cuales hay en producción 22 mil 560 manzanas. El 60% está ubicado en Rivas. Granada, Carazo, Managua, Masaya, León y Chinandega y el 30%

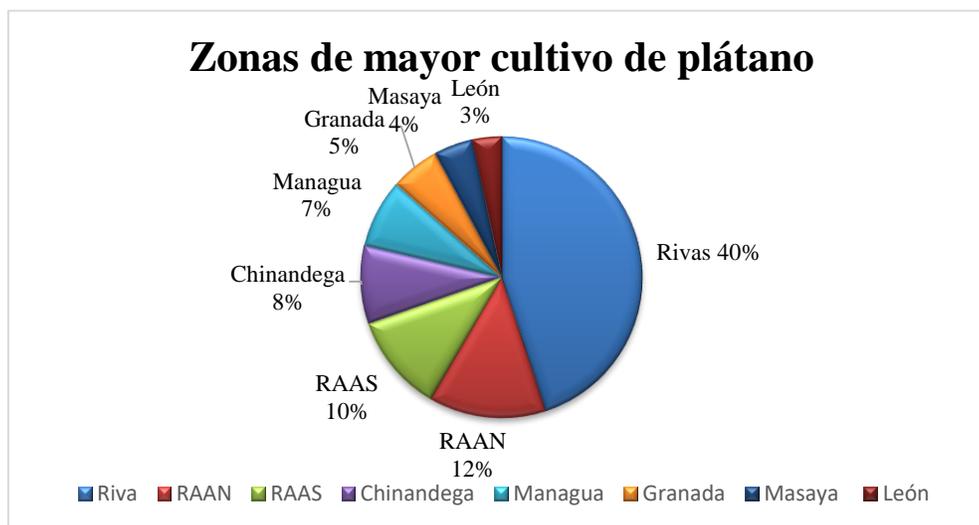
en el resto del país. La producción registrada es de 840 millones de unidades de plátanos. Esto representa un 7 % de crecimiento con relación al mismo periodo en el 2018.

La producción de las musáceas ha venido creciendo en los últimos 5 años más que en cantidad en calidad. 45 mil unidades por manzana es el rendimiento promedio."Dentro de los logros que se han venido teniendo con las familias productoras se puede decir que se ha logrado un crecimiento del 55 % en rendimientos respecto a los últimos cuatro años". (MAG, 2019)

### 2.1.2.3 Mercado Nacional

Nicaragua, dentro de su territorio de vocación agrícola, posee áreas que ofrecen condiciones de adecuadas a óptimas para la siembra de musáceas. Destacando los departamentos con zonas de mayor cultivo como: Rivas, con el 40%, RAAN con el 12%, RAAS con el 10%, Chinandega con el 8%, Managua con el 7%, Granada con el 5%, Masaya con el 4% y León con el 3%. Los otros departamentos están con un menor porcentaje de producción, del total de áreas sembradas de plátanos, en el país. (Briones Martínez , 2011)

Figura 1. Área sembrada, en las principales zonas de cultivo en (%)

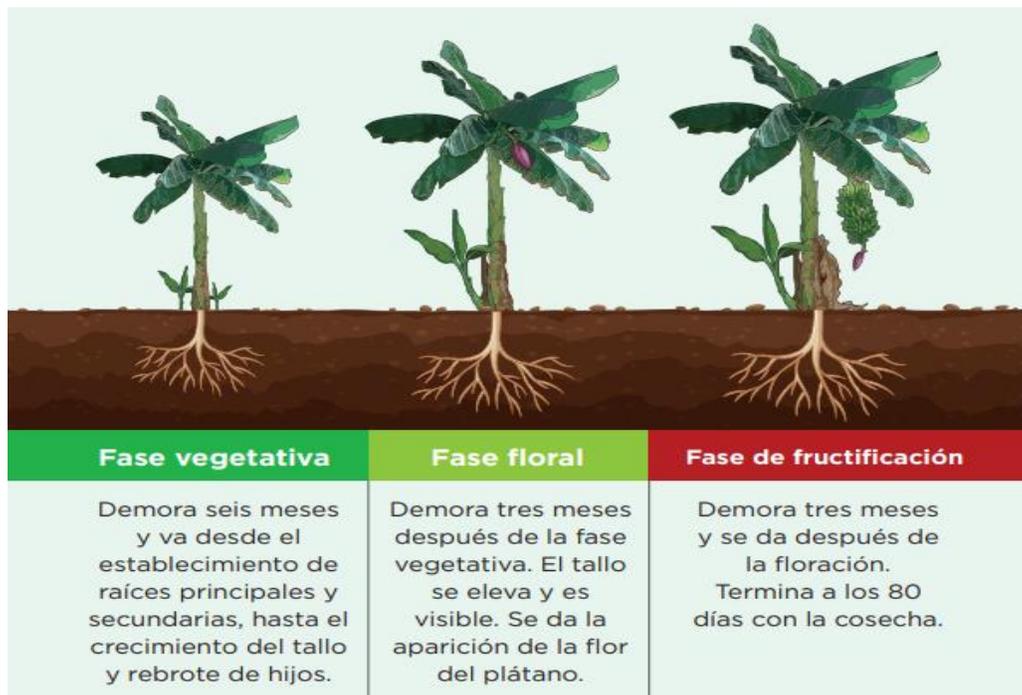


Nota: La producción de frutas de plátano representa una de las mayores actividades económicas para la familia campesina del departamento de Rivas. Fuente: Repositorio Unan (Briones Martínez , 2011)

### 2.1.3 Generalidades del plátano

El Plátano es una planta herbácea, perteneciente a la familia de las Musáceas, que consta de un tallo subterráneo (Cormo o Rizoma) del cual brota un Pseudotallo aéreo; el Cormo emite raíces y yemas laterales que formaran los hijuelos o retoños. (Calderón, 2018)

**Figura 2.** Desarrollo de una planta de plátano



Fuente: FAO (Pinto & Gómez , 2020)

#### 2.1.4 Taxonomía del plátano

Este fruto tiene por taxonomía la siguiente clasificación descrita en la tabla a continuación:

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del plátano

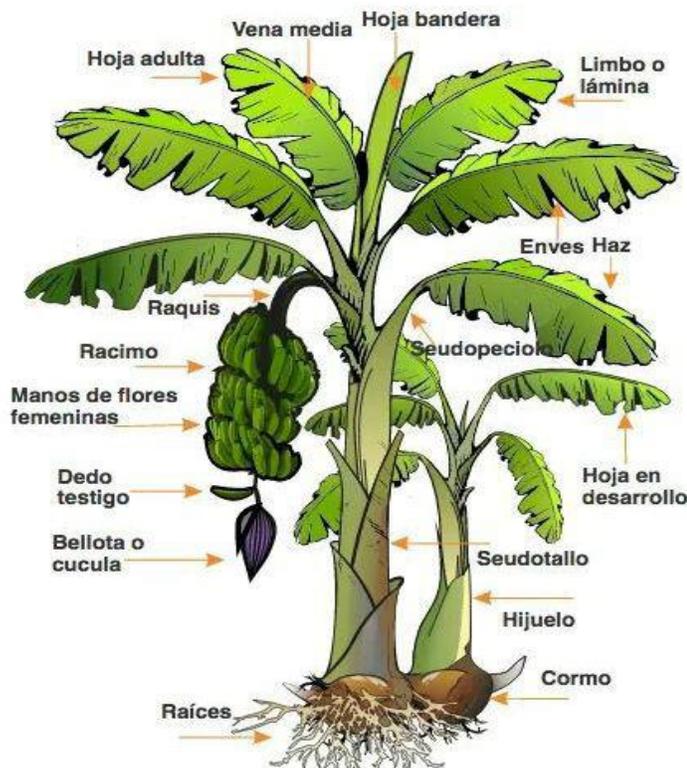
<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Clase</b>	Angiosperma
<b>Subclase</b>	Monocotiledónea
<b>Orden</b>	Zingiberales
<b>Familia</b>	Musáceas
<b>Género</b>	<i>Musa</i>
<b>Especie</b>	<i>Sapientum</i>
<b>Nombre Científico</b>	<i>Musa Sapientum</i>
<b>Nombres Comunes</b>	Banano, Habano, Banana

Fuente: (Lara Ramos & Vera Alcívar, 2011)

#### 2.1.5 Morfología

Las Musáceas son plantas herbáceas de gran tamaño que pueden llegar a medir hasta 15 m de altura. Están constituidas por un tallo corto subterráneo (rizoma) que recibe el nombre de “cormo”, del cual nace un pseudotallo aéreo formado por vainas envolventes de las hojas y por cuyo centro crece el eje floral. (Alemán, 2018)

**Figura 3.** Descripción general de una platanera



*Nota:* Las Musáceas son plantas herbáceas de gran tamaño que pueden llegar a medir hasta 15 m de altura. Están constituidas por un tallo corto subterráneo (rizoma) que recibe el nombre de “cormo”, del cual nace un pseudotallo aéreo formado por vainas envolventes de las hojas y por cuyo centro crece el eje floral. Fuente: (Aleman, 2018)

### **Raíz:**

La raíz alcanza un largo de 1,5 a 2 metros, pueden ser superficiales y estar distribuidas en los primeros 30 cm del suelo.

### **Rizoma o cormo:**

Llamado comúnmente cepa, produce una yema vegetativa que sale de la planta madre y sufre un cambio anatómico y morfológico de los tejidos y al crecer diametralmente forma el rizoma que alcanza una considerable altura.

### **Hojas:**

Las hojas están compuestas por vaina, pecíolo y lamina, poseen diferentes formas y sirve para estimar en la planta las etapas morfológicas y fonológicas del cultivo.

### **Tallo falso o Pseudotallo:**

Esta formado por la disposición imbricada de las vainas dispuestas en forma alternada y helicoidal (120°). Soporta a toda la parte aérea de la planta.

### **Inflorescencia y fruto:**

La inflorescencia contiene las flores femeninas (dan origen a las manos y dedos) y flores masculinas. el fruto se desarrolla de los ovarios de las flores pistiladas por el aumento del volumen de las tres celdas del ovario, opuestas al eje central. (Cárdenas Freire, 2018)

**Figura 4.** *Conjunto de plantas en fructificación*



Nota: La figura representa una platanera en fructificación, con sus hijos. ( Méndez Hernández & Rodríguez Serrano, 2016)

## 2.1.5.1 Variedades de una platanera

Existen muchas variedades comestibles y ornamentales de plataneras, las más conocidas son:

### 2.1.5.1.1 *Musa acuminata*

Por lo regular esta planta es también conocida como plátano rojo, la *Musa acuminata* puede tener una altura de 7 metros. Genera muchos hijos a partir del rizoma, por lo cual esa es su forma de cultivarse en cuanto florece; de esta variedad nace el plátano que es comestible, y tiene un tamaño entre los 8 y 15 centímetros de largo. Puede tolerar heladas no menores de -2 grados centígrados, pero se recomienda que sea cultivado en lugares cálidos. (vicentfe, 2020)

### 2.1.5.1.2 *Musa basjoo*

Acorde a la variedad *Musa basjoo*, es originaria de Asia, lo cual se conoce como banana japonesa. Usualmente, no supera los 6 metros de altura, sus hojas son un poco más pequeñas que la *acuminata*, ya que tiene una longitud de 2 metros. El fruto que da la *Musa basjoo* no es comestible. Tolera los climas fríos, pero si no se protege, puede llegar a debilitarse tanto tallos como raíces. (vicentfe, 2020)

### 2.1.5.1.3 *Musa paradisiaca*

De acuerdo a Rosales en el año 2007, describe que cuyo nombre deriva de una tradición cristiana-islámica. La variedad *musa paradisiaca* es la más producida, cultivada y conocida, esta variedad da un fruto comestible que tiene muchos nombres distintos dependiendo del lugar en donde se haya sembrado. La *Musa paradisiaca* puede llegar a tener 7 metros de altura y hojas de hasta 3 metros de diámetro. El fruto que da esta variedad, puede tener una longitud entre los 7 y los 30 centímetros de largo. (Solis Rosales, 2007)

### 2.1.5.1.4 *Musa Sapientum*

Rosales afirma que el nombre de *Musa Sapientum*, está basado en un escrito del historiador Plinio que indica la utilización del fruto para alimento de los sabios, fue asociado con el cultivar ‘figue-

ponme' (plátano manzano), consumible en fresco y de ahí su extensión a todos los plátanos consumibles en crudo. (Solis Rosales, 2007)

### **2.1.6 Propiedades funcionales del plátano**

De acuerdo a sus propiedades funcionales la pulpa del plátano es una excelente fuente de potasio. Un solo plátano puede proporcionar hasta el 23% de potasio que se requiere al día, lo cual beneficia a los músculos, ayudando a mantener un buen funcionamiento, evita los espasmos musculares, ayuda a disminuir la presión arterial, v reduciendo el riesgo de accidentes cerebrovasculares.

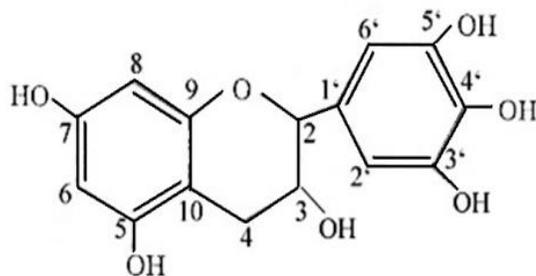
El fruto del plátano es rico en vitaminas A, B<sub>6</sub>, C y D, cediendo beneficios especialmente a los huesos y músculos del cuerpo humano. Uno solo de este fruto contiene el 41% del requerimiento necesario de vitamina B<sub>6</sub> al día. Sin embargo, cuando el plátano esta en estado inmaduro, contiene una alta concentración de almidón (70%) a comparación de la fruta en estado maduro. (Gómez Montaña & Blasco López, 2014)

### **2.1.7 Propiedades funcionales de la cáscara**

La cáscara del plátano representa aproximadamente el 30% del peso del fruto. La cáscara es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio, para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas.

Se considera que la cáscara de plátano es una fuente natural de compuestos antioxidantes para la elaboración de alimentos funcionales con efecto en contra de enfermedades del corazón. El plátano es uno de los frutos más consumidos a nivel mundial y se sabe que su pulpa así como su cáscara contienen varios antioxidantes como la galocatequina y la dopamina. (Gómez Montaña & Blasco López, 2014)

**Figura 5.** Estructura química de la Galocatequina



Fuente: (Gómez Montaña & Blasco López, 2014)

### 2.1.8 Composición química del plátano

La composición química de las musáceas cambia drásticamente durante la maduración del fruto, cuando este se encuentra inmaduro o verde presenta un alto contenido de almidón y un bajo contenido de azúcar, mientras que al estar maduro ocurre lo contrario. El plátano en estado inmaduro contiene 70-74% de humedad, 1% de proteína, 0,3-0,5% de grasa, 20-30% de carbohidratos totales, 0,5% de fibra bruta, 3,5% de fibra dietaría y el 1% de cenizas. De la pulpa del plátano puede obtenerse el almidón con una pureza del 93% en base húmeda. (García Vásquez, Iber, 2017)

### 2.1.9 Almidón

El almidón es un polisacárido que se encuentra en muchos vegetales como medio de almacenamiento de energía. Este material es fácilmente degradado por enzimas producidas por un gran número de organismos vivos. Se encuentra naturalmente formando gránulos que consisten en zonas amorfas y cristalinas. Esta conformación hace que la temperatura de fusión del almidón sea mucho mayor que su temperatura de degradación, haciendo muy difícil el procesamiento por medios convencionales. (Echeverría, 2014)

### 2.1.9.1 Polisacáridos constituyentes del almidón

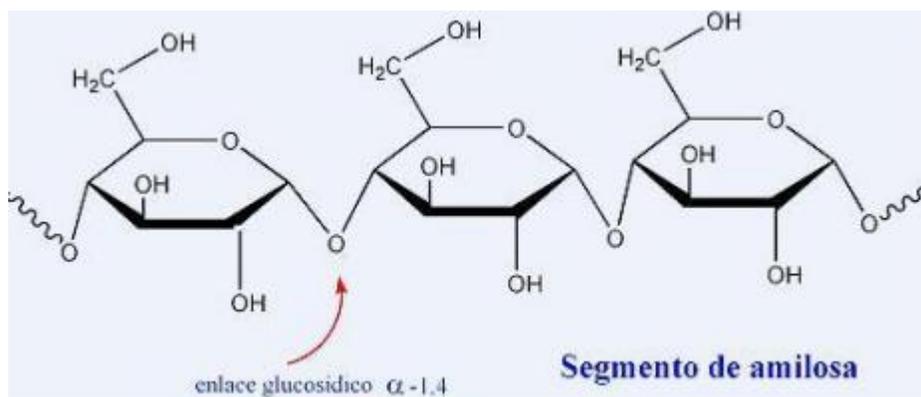
Por tanto, entre los polisacáridos constituyentes de almidón se encuentran: la amilosa y la amilopectina.

### 2.1.9.2 Amilosa

La amilosa está constituida por cadenas formadas de unidades de D-glucosa condensadas, se presentan como anillos de piranosa unidos en enlaces de  $\alpha$  (1-4). En los gránulos de almidón, la amilosa se presenta bajo la forma cristalina. Los enlaces hidrogeno de la amilosa son responsables de la adsorción de agua y de la formación de geles (Obregon Vento & Estrella Parian, 2014).

Por tanto, la amilosa es insoluble en agua y puede formar micelas hidratadas por su capacidad de enlazarse con moléculas de amilosa cercanas por puentes de hidrógeno, generando una estructura helicoidal. (Velásquez Barreto & Fluker, 2019)

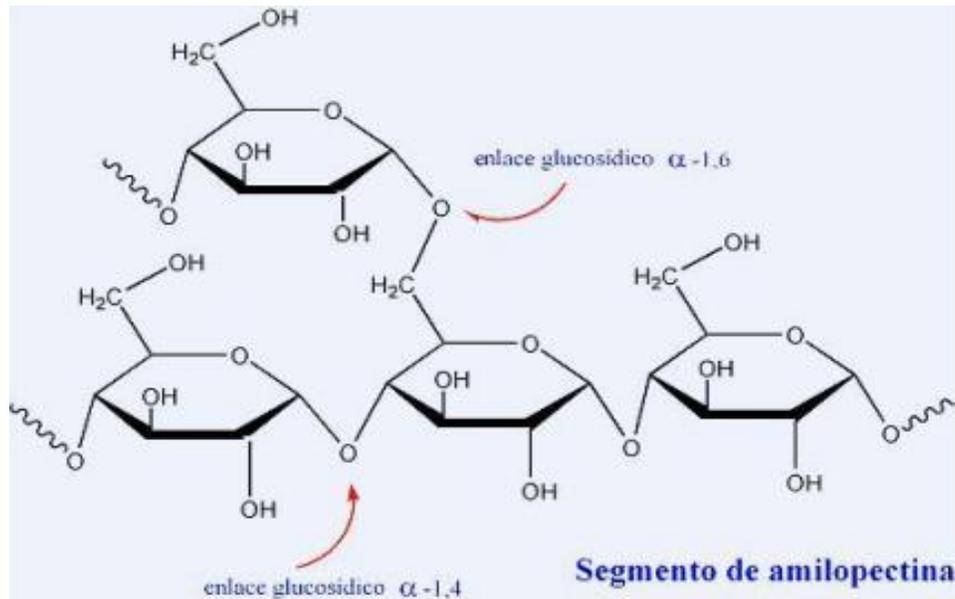
Figura 6. Estructura química de la Amilosa



Fuente: ITCA (García Quiñónez, 2015)



**Figura 7.** Estructura química de la Amilopectina



Fuente:ITCA (García Quiñónez , 2015)

## 2.1.9.4 Propiedades del almidón

### 2.1.9.4.1 pH

Holguin Cardona explica que el pH es una propiedad muy importante para los procesos de caracterizado del almidó, por lo que esta propiedad le da una predisposición de ceder o asumir hidrogeniones, los pH que son regularmente desviados de la media (pH: 7 – 7,5), son los más utilizados para los procesos de modificación. (Holguin Cardona, 2019)

### 2.1.9.4.2 Gelatinización del almidón

La gelatinización del almidón es un proceso en el que los gránulos se hinchan, dependiendo de la disponibilidad de agua, provocando la rotura de la matriz de amilopectina y la liberación de la amilosa.

La gelatinización es un proceso de tres etapas en el que diferentes eventos estructurales tienen lugar: la absorción de agua por los gránulos de almidón promueve un aumento en la movilidad de las regiones amorfas del polímero, las regiones amorfas del polímero se reorganiza formando nuevas interacciones intermoleculares, y el aumento hidrotérmico afecta, los polímeros se vuelven más móviles y pierden sus interacciones intermoleculares y estructura granular. (Huerta Andrade, 2018)

#### **2.1.9.4.3 Retrogradación del almidón**

Andrade, afirma que posterior a la gelatinización, al instante en el cual deja de introducirse calor y comienza la etapa de enfriamiento, la viscosidad aumenta nuevamente y se presenta el fenómeno denominado retrogradación. Por tanto se define como un incremento espontáneo del estado del orden, es decir, una reorganización de los puentes de hidrógeno y reorientación de las cadenas moleculares. Simultáneamente, se genera un decrecimiento de la solubilidad en agua fría y en la turbidez. (Huerta Andrade, 2018)

#### **2.1.9.4.4 Sinéresis**

En la fase de descongelación, durante el almacenamiento en frío, la organización de las moléculas de almidón dan como resultado la exudación de agua o mejor conocido como sinéresis y esto produce cambios en las propiedades funcionales del mismo. (Andino, 2008)

#### **2.1.9.4.5 Viscosidad**

Holguin Cardona manifiesta que la resistencia de las moléculas de un fluido a deformarse, situación que se debe a las fuerzas de adherencia que tienen un fluido, lo cual esta propiedad pertenece a los fluidos en movimiento, por lo que no ve reflejada en líquidos estáticos ya que sus moléculas están en estado estacionario. (Holguin Cardona, 2019)

#### **2.1.9.4.6 Solubilidad**

Los almidones según su porcentaje de amilosa y amilopectina poseen cierta capacidad de disolverse en agua cuando están por encima de la temperatura de gelatinización. (Holguin Cardona, 2019)

#### **2.1.9.5 Tipos de almidón**

##### **2.1.9.5.1 Almidón nativo**

Son los almidones que no han sufrido ningún proceso de modificación durante su obtención y pueden utilizarse en los procesos industriales como aditivo o materia prima; representando un elemento abundante económico y de fácil obtención. Sin embargo, el almidón nativo puede ser susceptible a las condiciones de proceso (temperatura, pH, presión) reduciendo sus aplicaciones industriales debido a la baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis. (Hidalgo Ortiz & Micho Ymaña, 2016)

##### **2.1.9.5.2 Almidones modificados**

Son aquellos que son degradados intencionadamente por la acción de agentes oxidantes, ácidos o enzimas; esto se realiza para obtener almidones con características mejoradas y evitar procesamiento o el uso de otros componentes en la industria (Guadrón Delgado, 2013). Según (Andino, 2008) ``Un almidón modificado es considerado aquel que ha sufrido alguna alteración en una de sus características originales por diferentes tratamientos, bajo ciertas prácticas de manufactura. La modificación de un almidón involucra su estructura granular como la molecular, y el orden cristalino de la estructura puede ser interrumpido por tratamientos físicos``

Los métodos para modificar los almidones nativos pueden clasificarse en físicos o químicos. Los métodos físicos utilizan calor y humedad (pregelatinización); mientras que los métodos químicos involucran la introducción de grupos funcionales dentro de las moléculas constituyentes del almidón mediante reacciones de derivatización o descomposición.

La modificación del almidón es una herramienta posible para obtener derivados con diferentes propiedades específicas, por lo que, el estudio de las propiedades fisicoquímicas, estructurales y funcionales, es esencial para determinar los potenciales usos de estos derivados en la industria de alimentos. (López, 2011)

#### **2.1.9.6 Usos industriales del Almidón**

En las últimas décadas el almidón ha sido utilizado para algunos propósitos generales:

- ✓ **Alimentación humana:** El almidón se hidroliza a glucosa contribuyendo en la dieta. Las fuentes más utilizadas para este fin son el maíz (83% de la producción mundial de almidón). (Tovar Benítez, 2008)
- ✓ **Alimentación animal:** Los almidones se han empleado como alternativa para satisfacer los niveles de carbohidratos no estructurales y los requerimientos energéticos en la alimentación de ganado. (Ríos Ríos, 2014)
- ✓ **Aplicaciones industriales no alimentarias:** Cerca del 80% del almidón suministrado a la industria es usado como pegamento en la fabricación de papel a como del cartón para enlazar los componentes que forman la fibra celulósica regenerando la resistencia contra la humedad y ofrecer así una textura lisa.

#### **2.1.10 El almidón como materia prima para bioplástico**

Para convertir un almidón seco en un material para bioplástico es preciso romper y fundir la estructura granular semicristalina del mismo. El almidón, sin los aditivos adecuados que son los plastificantes, no tiene las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico; ya que los plastificantes incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular.

Por tanto se pueden distinguir dos tipos de ordenamiento en el almidón termoplástico después de su procesamiento: la cristalinidad residual clasificada en las formas tipo A, B y C causadas por la

fusión incompleta durante la plastificación y la cristalinidad inducida durante el procesamiento, de acuerdo a los arreglos generados en las cadenas poliméricas. El tipo A es particular en almidones de cereales, el B en tubérculos y el C en ciertas raíces y semillas.

Sin embargo, algunas condiciones de procesamiento y almacenamiento como la temperatura y la humedad, el almidón amorfo sufre cambios estructurales después del enfriamiento, basados en la recristalización de la amilosa y la amilopectina en diferentes estructuras cristalinas, separación de fase y reorientación del polímero. (García Quiñónez , 2015)

### **2.1.11 Extracción de almidón**

Existen dos métodos de extracción a partir de los residuos de fruto de plátano, incluyen: extracción en seco y extracción húmeda. El método de extracción en seco permite extraer el 49,62% del almidón de la pulpa del plátano, mientras que el húmedo permite extraer el 56,76%.

Así mismo, el método húmedo manifiesta mayores rendimientos, su costo es más elevado ya que consume grandes cantidades de agua, generando un efluente líquido con elevada carga orgánica y requiere mayor tiempo y espacio. A diferencia de el método seco, que es más económico ya que requiere una menor inversión en área y equipamiento, y no consume agua, generando así menores impactos ambientales. (Hernández, Fernando Martín , & Morales, 2015)

### **2.1.12 Polímeros**

La palabra polímero proviene del griego Polys y Meros, que significa muchos y partes respectivamente; y estos se definen como macromoléculas compuestas por varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena.

Actualmente la mayoría de las sustancias orgánicas son polímeros naturales como proteínas, madera, quitina, caucho, también tenemos los polímeros sintéticos como son plásticos, las fibras, los adhesivos. Conforme a la gran variedad de polímeros existentes todos disponen de una estructura interna semejante, por lo cual todos se rigen por mismas teorías. (García Vásquez, Iber, 2017)

### **2.1.12.1 Clasificación de polímeros**

Así mismo, los polímeros se clasifican según su estructura, composición, origen y tipo de polimerización, sin que estas clasificaciones sean excluyentes entre sí. Existen diferentes términos utilizados en la industria de polímeros que corresponden a los diferentes modos de clasificación.

Es por ello, que primero se aplica a materiales comerciales que contienen aditivos que mejoran la procesabilidad y las propiedades (PE, PVC, ES, etc.), excepto fibras que tienen cierta característica de rigidez a temperatura ambiente. El segundo se utiliza para designar cualquier material polimérico puro, sin aditivos o cargas, los dos restantes se aplican a materiales que tienen flexibilidad y elasticidad a temperatura ambiente. (Raimond, 2002)

#### **2.1.12.1.1 Polímeros naturales y polímeros sintéticos**

Generalmente los polímeros naturales son los compuestos poliméricos que se encuentran en nuestro medio ambiente, mientras que los polímeros sintéticos son los compuestos poliméricos que no están disponibles en la naturaleza y se producen artificialmente.

#### **2.1.12.2 Tipos de polimerización**

**Polimerización por condensación:** En este acápite Raimond manifiesta, que cada unión de dos monómeros se pierde una molécula pequeña. Debido a esto, la masa molecular del polímero no es necesariamente un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero.

**Polimerización por adición:** En este tipo de polimerización la masa molecular del polímero es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. Se genera cuando un catalizador, inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, posteriormente los monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina.

Suelen seguir un mecanismo en tres fases, con ruptura homolítica:

- ✓ **Iniciación:**  $\text{CH}_2=\text{CHCl} + \text{catalizador} \Rightarrow \bullet\text{CH}_2-\text{CHCl}\bullet$
- ✓ **Propagación o crecimiento:**  $2 \bullet\text{CH}_2-\text{CHCl}\bullet \Rightarrow -(\text{CH}_2-\text{CHCl}-\text{CH}_2-\text{CHCl})-$
- ✓ **Terminación:** Los radicales libres de los extremos se unen a impurezas o bien se unen dos cadenas con un terminal neutralizado. (Raimond, 2002)

### **2.1.12.3 Contaminación ambiental por polímeros**

No obstante las bolsas de plástico están diseñadas frecuentemente de polietileno que deriva del gas natural y del petróleo, siendo así, utilizadas en todo el mundo desde el año 1961. En efecto se estima que se fabrican al año entre 500 billones, a un trillón de bolsas de plástico en el planeta. La gran desventaja es su lenta descomposición. Le lleva al poliestireno y al plástico 500 años desintegrarse, lo cual lo convierte en un producto de desecho que afecta al medio ambiente.

Además, el plástico no es reciclable y tampoco es biodegradable; es un material que ni la tierra ni el mar pueden digerir. Por tanto al no desaparecer el plástico se va acumulando en el medio ambiente, por lo cual su efecto ya es latente.

En el planeta se arrojan a la basura 280 millones de toneladas de plástico al año. Tratando de esta manera a los océanos como un gran bote de basura. Alrededor del 80 % de la basura marina se origina en la tierra y la mayoría es plástico. (Bejarano Martínez, 2018)

### **2.1.13 Plásticos biodegradables**

Los plásticos biodegradables, compostables y de base biológica se promueven cada vez más como una solución a los desafíos que plantea nuestra dependencia de este material. Cada vez más productos de consumo, sobre todo unos plásticos de un solo uso cuya privación se está extendiendo gradualmente a más países, lo cual se etiquetan y venden como “verdes”.

Hay que considerar que existen muchos tipos de plásticos biodegradables que, tienen diferentes plazos y condiciones para descomponerse correctamente. Sin embargo, los plásticos biodegradables están diseñados para biodegradarse en un medio específico como: agua, suelo, compost, bajo ciertas condiciones y en distintos períodos de tiempo. Los plásticos que son

*vanessa ael Carmen Gonzalez marquez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

industrialmente compostable están diseñados para biodegradarse en las condiciones de una planta de compostaje industrial y los plásticos compostable domésticos están diseñados para biodegradarse en las condiciones de un compostador doméstico bien administrado a temperaturas más bajas que en las plantas industriales de compostaje. (Pan Montojo, 2020)

#### **2.1.14 Clasificación de los bioplásticos**

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar a partir de su proceso de fabricación de la siguiente manera:

- ✓ Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina, y colágeno.
- ✓ Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables. Algunos ejemplos de este grupo son: ácido poli láctico (PLA), poli-ácidos glicoles (PGA) y policaprolactona (PCL).
- ✓ Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente. Este grupo engloba a: Polihidroxicanoato (PHA), poli-3-hidroxicaprolactona (PHB).
- ✓ Sin embargo, las clasificaciones más “estrictas”, clasifican los bioplástico únicamente en función de su procedencia bien sea a partir de fuentes fósiles (derivados del petróleo) o de materias primas naturales, denominándose entonces biopolímero. (García C. , 2015)

## **2.1.15 Plastificantes**

Los plastificantes son materiales de baja volatilidad que se agregan a un polímero para aumentar su flexibilidad, elasticidad y fluidez en estado fundido. Los beneficios secundarios incluyen una mayor resistencia al impacto y suavidad.

### **2.1.15.1 El glicerol**

Es un alcohol con tres grupos hidroxilo, estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua. Tiene un aspecto líquido incoloro y viscoso. No es tóxico, lo que le permite ser un buen lubricante. Su fórmula es  $C_3H_8O_3$ .

Asi mismo, el glicerol junto con el agua destilada, es el plastificante regularmente más utilizado en los diferentes estudios que se han realizado sobre la fabricación de polímeros termoplásticos a partir del almidón. Las mezclas que contienen glicerol tienen un aspecto morfológico suave y uniforme. (Bejarano Martínez, 2018)

### **2.1.15.2 El ácido acético**

El ácido acético es apropiado como modificador químico, ya que contiene la propiedad de disminuir el carácter hidrofílico de almidón, brindándole propiedades hidrofóbicas al material mejorando así sus propiedades mecánicas. (Bejarano Martinez, 2018)

## **2.2 Antecedentes**

### **2.2.1 Estudios previos a nivel nacional**

En el 2016 Rosales obtuvo un biopolímero utilizando el método de polimerización por condensación, haciendo uso de una mezcla plastificante de glicerina, Hidróxido de Sodio, Ácido Acético y agua. Los análisis físicos al biopolímero indicaron características similares a las de los plásticos procedentes de hidrocarburos, pero en cuanto al contenido de humedad y degradabilidad, son mayores en el biopolímero biodegradable lo que indicó que se degrada más fácilmente que los plásticos convencionales. (Rosales A. , 2016)

### **2.2.2 Estudios previos a nivel latinoamericano**

Estudiantes en el 2017 crearon un plástico biodegradable el que decidieron consolidarlo y mejorarlo, para obtener mayores funciones de este, como resistencia y la impermeabilidad para poder lograr firmeza y resistencia en su forma líquida. Los productos que hacen posible la creación de este plástico biodegradable son, la cáscara de plátano, la fécula de maíz y la solución antipardeante de ácido acético diluido y glicerina. Al cabo de 24 horas al sol esta mezcla se convierte en un material plástico (Cajigas, 2017). Hasta el momento estos jóvenes han logrado la creación de una bolsa resellable, un logro que consideran importante puesto que es uno de los utensilios que se utilizan diariamente.

En el 2018, Cárdenas Freire en su tesis “Extracción de almidón a partir de residuos de banano (Musa paradisiaca) para la elaboración de un biopolímero”, obtuvo el almidón mediante dos metodologías diferentes, dando como resultado un rendimiento de 22,30 % a partir del método húmedo y 42,335 % del método seco. El almidón extraído se modificó por medio de la reacción de acetilación interpretándolo mediante espectroscopia infrarroja IR. Con estos almidones extraídos se elaboró polímeros utilizando como plastificantes agua destilada y glicerina, y como modificador químico el ácido acético. (Cárdenas Freire, 2018)

En el 2019 García en su tesis “Obtención de un biopolímero a partir de harina de plátano de desecho (*Musa paradisiaca*)” sintetizó nuevos polímeros basados en tres tipos de harina de plátano: plátano entero, pulpa de plátano y cáscara de plátano.

La preparación de la harina conllevó un tratamiento de pardeamiento enzimático con meta bisulfito de sodio y ácido cítrico, logrando eliminar hasta en un 70% la oxidación. La síntesis del biopolímero fue realizada con glicerina o etilenglicol y ácido acético, dando una mayor resistencia las películas sintetizadas con etilenglicol (García G. R., 2019). Las pruebas de biodegradabilidad mostraron que las películas sintetizadas con pulpa de plátano tienen el mayor porcentaje de degradabilidad y las de menor porcentaje de degradabilidad son las películas sintetizadas con cáscara de plátano.

## **2.3 Hipótesis**

El almidón extraído a partir del endocarpio de la especie *Musa Sapientum* es apto según los parámetros de calidad para su transformación en el biopolímero.

## CAPITULO III



**BIOPOLIMERO**

### **3.1 Diseño metodológico**

#### **3.1.1 Descripción del ámbito de estudio y tecnológico**

Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales (LOUI) del Departamento de Química de la UNAN–Managua. El laboratorio cuenta con suficiente espacio para aplicar con seguridad los métodos fisicoquímicos que conllevan la investigación. El laboratorio consta de una iluminación adecuada y se encuentra equipado de los siguientes materiales: mesas para laboratorio, estantes, sillas, campana de gases, balanzas analíticas, horno, extintores y la cristalería necesaria para realizar los ensayos de obtención del biopolímero plástico.

Las referencias geográficas del Comedor de la UNAN-Managua (donde se obtuvo la cáscara de plátano) y el Laboratorio LOUI del Departamento de Química de la UNAN-Managua, se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** *Coordenadas de los sitios de toma de muestra*

<b>Coordenadas N, E</b>	<b>Descripción</b>
12.105370-86.273286	Comedor de UNAN: área de colecta de las cáscaras de plátano
12.106201-86.270906	Laboratorio LOUI del Departamento de química de la UNAN-Managua

Fuente: elaboración propia

Posteriormente en la figura se representa la ubicación geográfica del comedor de la UNAN-Managua:

**Figura 8.** Ubicación geográfica del comedor central de la Unan Managua



Fuente: elaboración propia

### 3.1.2 Tipo de Estudio

De acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental y según el nivel inicial de profundidad del conocimiento es analítico. (Piura López, 2008)

De acuerdo a la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista 2014. Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo ya que los datos fueron obtenidos en el transcurso de la investigación.

Según (Canales, 1996), por el período y secuencia el estudio es transversal, dado que la investigación se realizó en un solo período de tiempo y de acuerdo con el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico y predictivo.

### **3.1.3 Población y muestra**

#### **3.1.3.1 Población**

Se obtuvo el 30,5 kg de cáscaras de plátano provenientes del Comedor de la UNAN-Managua ubicado en costado suroeste de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), entrada a la colonia Miguel Bonilla, Managua.

#### **3.1.3.2 Muestra**

429,69 g de muestras de almidón seleccionadas para su procesamiento. Por el cual 103 g se utilizaron para la elaboración del biopolímero.

#### **3.1.3.3 Criterios de inclusión**

- ✓ Cáscara de plátano verde *Musa Sapientum*
- ✓ Cáscara de plátano en estado de maduración intermedia

#### **3.1.3.4 Criterios de exclusión**

- ✓ Cáscara de plátano verde de otra variedad
- ✓ Cáscara de plátanos maduros de cualquier variedad
- ✓ Cáscara de plátano lastimados de cualquier variedad

## **3.2 Variables y Operacionalización**

### **3.2.1 Variables independientes:**

- ✓ Almidón de cáscara de plátano *Musa Sapientum*
- ✓ Glicerina
- ✓ Ácido acético
- ✓ Agua destilada
- ✓ Tiempos de secado
- ✓ Temperatura de secado

### 3.2.2 Variables dependientes:

- ✓ Contenido de humedad
- ✓ Biodegradabilidad a los 60 días en suelo e intemperie y 30 días en agua
- ✓ Espesor
- ✓ Densidad

### 3.2.3 Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala/Unidad
<b>Variable Independiente:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Almidón de cáscara de plátano <i>Musa Sapientum</i>.</li> <li>✓ Glicerina</li> <li>✓ Ácido acético</li> <li>✓ Agua potable</li> <li>✓ Tiempos de secado</li> <li>✓ Temperatura de secado</li> </ul>	La cascara de plátano de uso industrial representa del 35% al 40%, del peso total del fruto, siendo una cantidad considerable de residuos que se podrían aprovechar para la producción de complejos enzimáticos. Los usos de la cascara de plátano son: extracción de pectina, materia prima para bioplástico y compost.	La cáscara de plátano verde <i>Musa Sapientum</i> se conserva para la extracción del endocarpio. Seguidamente se deshidrata, se seca y se pulveriza pasándose por un tamiz para obtener la harina.	Selección de la cáscara de plátano	Lámina	Cualitativo
			Extracción del endocarpio	Cáscara de plátano en tiras de 20 a 25 cm	cm, g
				Agua potable	mL
			Obtención de la harina	Deshidratación	°C
				Pulverización	Cualitativo
				Tamizado	µm
			Tratamiento para la elaboración	Almidón	g
				Ácido Acético	mL
				Glicerina	mL
				Los biopolímeros se le conocen como un material biodegradable desarrollado a partir de recursos naturales,	El proceso para la elaboración del biopolímero incluye al almidón de la

	compuesto por amilosa, disolvente, plastificante y fijador de moléculas, a partir de estos se puede producir plásticos biodegradables.	cáscara del plátano, además de reactivos químicos como la glicerina y ácido acético. Se mezclan con agua destilada a 70 °C hasta obtener el biopolímero.	del biopolímero	Temperatura de secado	°C
<b>Variable Dependiente</b> ✓ Contenido de humedad ✓ Biodegradabilidad ✓ Espesor ✓ Densidad	<b>Biodegradabilidad</b> Es el tipo de degradación causada por microorganismos como bacterias, algas y hongos los cuales producen cambios químicos en la estructura del material convirtiéndolos en productos simples. <b>Humedad</b> Es la cantidad de vapor de agua u otra sustancia que se encuentra en el biopolímero. <b>Espesor</b> Se denomina espesor al grosor de un elemento es decir, a qué tan grueso, abultado o ancho es. <b>Densidad</b> Relación entre la masa (biopolímero) y el volumen (agua) determinado de una sustancia.	Se sintetizó un biopolímero al cual se le determinaron pruebas físicas como humedad, espesor, densidad y biodegradabilidad en el suelo, intemperie y agua.	Propiedades Físicas del biopolímero	Espesor	mm
				Humedad	%
				Densidad	g/cm <sup>3</sup>
				Biodegradabilidad	g

Fuente: elaboración propia

### 3.3 Materiales y método

#### 3.3.1 Materiales para recolectar la información

La recolección de información para sustentar y concretar el desarrollo de la investigación se realizó mediante las siguientes fuentes, materiales y herramientas, como:

- ✓ Fichas de recolección de datos
- ✓ Monografías y seminarios

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

- ✓ Artículos científicos
- ✓ Publicaciones de sitio web
- ✓ Cámara para la captura de imágenes

### 3.3.2 Material para procesar la información

La información fue presentada por medio de tablas, gráficos, diagrama de flujo y equipos. La información fue procesada con la ayuda de los siguientes softwares:

- ✓ Microsoft Excel 2016: Gráficos, Tablas
- ✓ Microsoft Word 2016: Tablas, Flujograma, trabajo escrito

#### 3.3.2.1 Materia prima, equipos, materiales de laboratorio, reactivos e insumos

**Tabla 4.** *Materiales, equipos, materia prima, insumos y reactivos*

<b>Material</b>	<b>Detalle/Especificaciones/Capacidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Materia prima</b>	Cáscara de plátano <i>Musa Sapientum</i>	30,50 kg
<b>Material consumible de laboratorio</b>	Guantes de nitrilo talla S, marca Wellpro®	1 caja
	Guantes para autoclave Bel-Art™ capaces de proteger a temperatura de hasta 232 °C	1 pares
<b>Equipos de laboratorio</b>	Plato de calentamiento marca Bunsen, año 2009 Límite de calefacción: 100°C Agitación RPM: 2100 Agitador magnético RC8	1
	Balanza semi- Analítica Gibertini, marca OHAUS Carga máxima: 200 g Resolución de 0,001 g	1
	Balanza Electrónica Digital marca OHAUS Carga máxima: 3000 g Resolución: 0,05 g	1
	Balanza marca HUAXI Golden Dragon (kg, Lb y onza)	1

	Horno de convección marca J.P. SELECTA, s.a. Capaz de proveer una temperatura de calentamiento de 230 °C	1
<b>Cristalería y material de porcelana</b>	Beaker de 100 mL±5% a 20 °C, marca Pyrex, Clase A	1
	Beaker de 1000 mL±5% a 20 °C, marca Pyrex clase A	1
	Beaker de 250 mL±5% a 20 °C, marca Pyrex clase A	2
	Probeta de 5mL±0,005 a 20 °C, marca Pyrex, Clase A	1
	Probeta de 10mL±0,01 a 20 °C, marca Pyrex, Clase A	1
	Probeta de 25 mL±0,25 a 20 °C, marca Pyrex, clase A	2
	Balón de 50 mL±0,05 a 20 °C, marca KIMAX, clase A	2
	Pilones de vidrio, marca Fisher	2
	Pilones de porcelana, marca Jipo	2
	Morteros de vidrio de 8 onzas, marca Fisher	2
	Morteros de porcelana de 5 onzas, marca Jipo	2
	Frasco de vidrio ámbar con su gotero de 50 mL para realizar prueba con reactivo de solución de yodo	1
	Agitador de vidrio sólido de 25 cm	2
	Matraz de 100 mL marca Pyrex, clase A, resolución de ±0,10 mL a 20 °C	3
	Matraz de 50 mL marca Pyrex, clase A, resolución de ±0,09 mL a 20 °C	1
	Matraz de 250 mL marca Pyrex, clase A, resolución de ±0,12 mL a 20 °C	2
	Pipeta de 10 mL, marca Pyrex, Clase A, resolución de ±0,05 mL a 20 °C	1
	Tamiz # 40 (0,42 mm)	1
	Tamiz # 60 ( 250 mm)	1
	Termómetro Fisher Scientific con lectura máxima de 110°C	1
Termómetro de alcohol con temperatura máxima de 260 °C	1	
	Crisoles de porcelana de 15 mL ( 35 X 29 mm)	3
	Espátulas marca Fisher Brand ( 32 X 14 mm)	2
	Pinza para Crisol marca Fisher Brand de 23 cm de largo	1
<b>Reactivos</b>	Ácido acético 0,1M	500 mL

---

	Glicerina Comercial	
	Yodo-sublimado	
<b>Insumos</b>	Agua destilada	25 litros
	Ácido cítrico de limón	

Fuente: elaboración propia

### **3.3.3 Metodología analítica**

La metodología analítica utilizada en esta investigación es por el método seco, el cual se describe a continuación:

#### **3.3.3.1 Recolección de la materia prima (cáscaras de plátano)**

La materia prima (cáscara del plátano), procedente del comedor central de la UNAN-Managua, se colocó en un saco macen y se trasladó al laboratorio LOUI donde fueron realizados los análisis.

Se seleccionaron las cáscaras más enteras y se desecharon las que estaban en menor condición para extraer el endocarpio. Las cáscaras seleccionadas se pesaron en una balanza marca (Huaxi con pesos en kg, lb, Oz) y alcanzó un peso de 30,50 kg.

#### **3.3.3.2 Lavado de las cáscaras**

El lavado de la cáscara se realizó con agua de la red pública, con el propósito de eliminar cualquier tipo de suciedad externa que pudiese presentarse. Las cáscaras lavadas se colocan encima de un mesón con un plástico, aproximadamente por dos semanas a 25 °C en el laboratorio.

#### **3.3.3.3 Rayado del Endocarpio**

Utilizando un cuchillo, se procedió al rayado de las cáscaras para extraer el endocarpio de la cáscara del plátano.

Es importante mencionar que se obtuvo el peso exacto de:

- ✓ Cáscaras de plátano luego de extraer el endocarpio
- ✓ De todo el endocarpio extraído

Para determinar el peso de toda la cáscara de plátano se establecieron en grupos sin tomar en cuenta la cantidad de tiritas de cáscara que habían en cada grupo.

De igual manera se realizó para determinar el peso de todo el endocarpio. En esta etapa se dividieron los grupos: siendo uno, de 7 grupos de endocarpio y el otro de 32 grupos de endocarpio. Así mismo sin tomar en cuenta la cantidad de tiritas que habían en los grupos.

#### **3.3.3.4 Inmersión en ácido cítrico**

Se llevó a cabo una prueba preliminar en el endocarpio de la cáscara de plátano para comparar cuál es el ácido cítrico adecuado para evitar la oxidación del endocarpio (jugo de limón o naranja agria).

- ✓ Anteriormente se establecieron 7 grupos de endocarpio, cortadas en forma de fajitas delgadas y fueron sumergidos en jugo de naranja agria con su respectivo código de verificación (NA-110-01).
- ✓ Del mismo modo los 32 grupos de endocarpio, fueron sumergidos en jugo de limón con su respectivo código de verificación (JL-110-01).
- ✓ Se dejó reposar en ácido cítrico cada grupo de endocarpio por 15 minutos con el objetivo de mantenerlo en el estado deseado (endocarpio más claro) sin que se oxidara. Al cumplirse el tiempo que fueron sumergidos, se extrajo el endocarpio con ayuda de un colador plástico de 9,45 pulgadas de diámetro.

#### **3.3.3.5 Secado del endocarpio**

Esté se colocó en mesas sobre un plástico grueso de manera extendida para su secado durante dos semanas y media a temperatura ambiente.

Al transcurrir esas dos semanas y media, en la prueba preliminar resultó con mayor presentación y color más claro las tiras que se sumergieron en jugo de limón, por lo que se tomó este jugo como solución de antipardeamiento para la investigación.

### **3.3.3.6 Molienda**

En este proceso, las fajitas de endocarpio se trituraron en un molino de rotación manual marca VICTOR con el objetivo de obtener una harina. Además, se terminó de pulverizar con mortero y pilón.

### **3.3.3.7 Tamizado**

La harina obtenida se hizo pasar por tamices número de 40 y 60  $\mu\text{m}$ . Seguidamente se almacenó en un recipiente, lo que no pudo pasar a través de las aberturas de los tamices, se siguió pulverizando con mortero y pilón hasta pasar toda la harina.

### **3.3.3.8 Mezclado**

En un Beaker de 500 mL con un volumen de agua de 20 mL, se adicionó 4 gramo de almidón y se prosiguió a someter a calentamiento, homogenizando constantemente hasta alcanzar una temperatura de 45°C. al transcurrir esa temperatura se adicionan 5 mL de ácido acético, luego de alcanzar una temperatura de 55°C se adicionan 5 mL de glicerina, al alcanzar una temperatura de 70 °C se verificará la mezcla como una apariencia pastosa que indica que hay que retirarlo del plato de calentamiento..

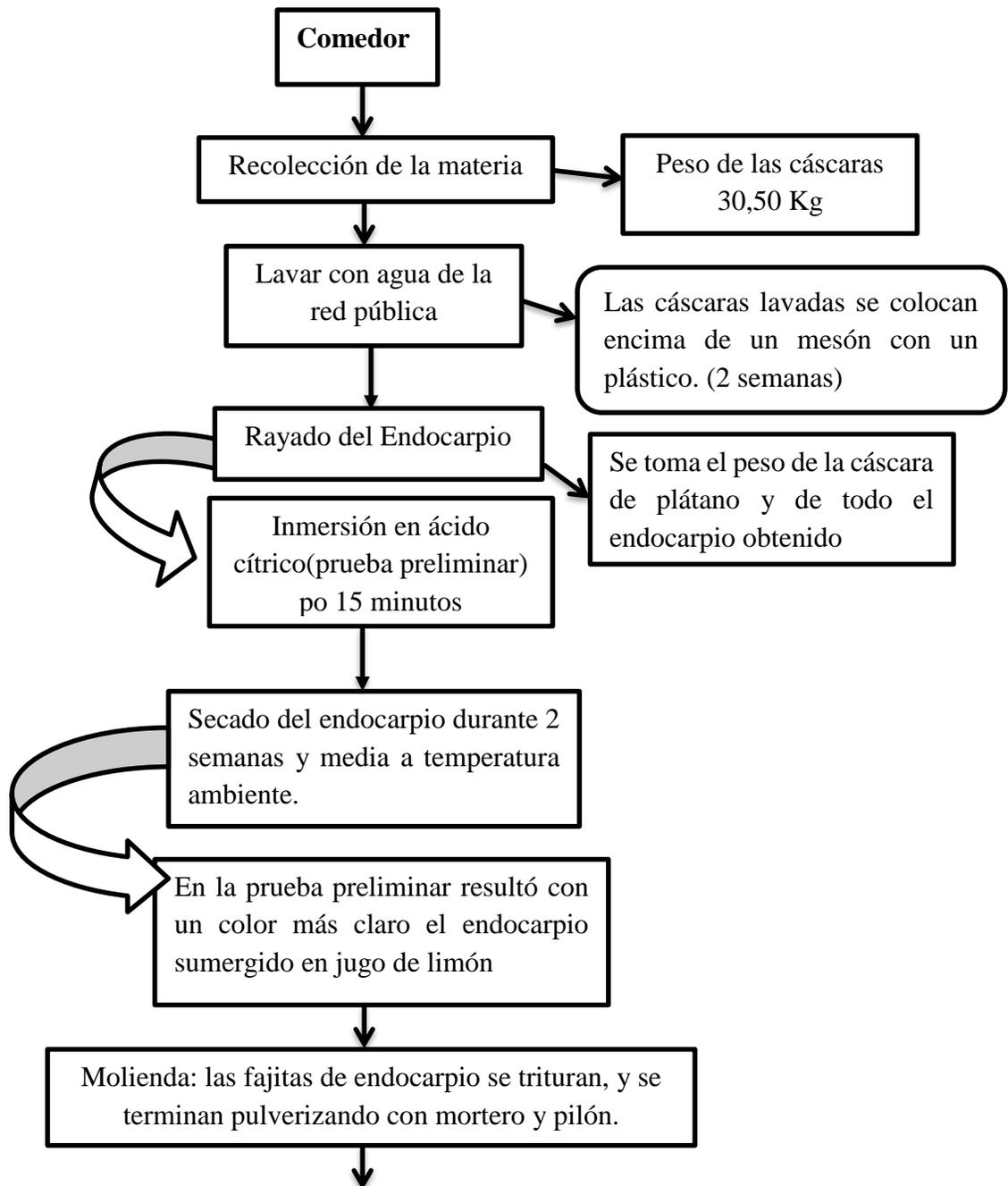
### **3.3.3.9 Secado**

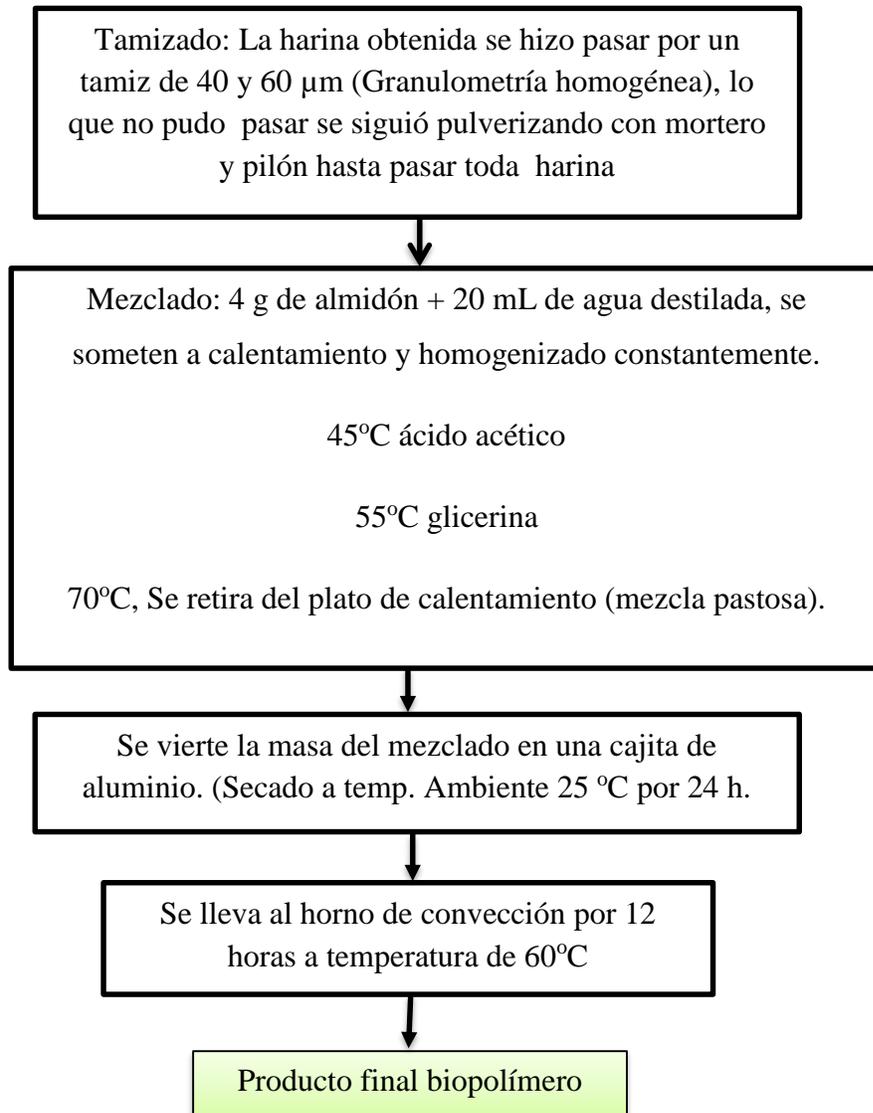
La pasta obtenida anteriormente, se colocó en cajitas de aluminio y se extendió con ayuda de una cuchara, de la manera más uniforme posible.

Se dejó secar por aproximadamente 24 horas a temperatura ambiente (25°C). Luego se introdujo en horno de convección (marca J.P. SELECTA, s. a) por 12 horas a una temperatura de 60°C para obtener el producto final: un biopolímero.

### 3.3.3.10 Diagrama de flujo de la elaboración de biopolímero

Figura 9. *Elaboración del Biopolímero*





### **3.3.4 Procedimientos**

#### **3.3.4.1 Solución Antipardeamiento**

Esta solución tiene como función evitar la oxidación del almidón, a este proceso se le conoce como pardeamiento enzimático.

Al momento de cortar ciertas frutas o verduras y la superficie entra en contacto con el aire, en unos minutos adoptan un color oscuro. Es lo que se conoce como pardeamiento enzimático, una alteración que se manifiesta con la formación de colores oscuros y la pérdida de sabor, e incluso, de contenido nutricional. Por este motivo, se convierte en un problema para productos como frutas y hortalizas. (Gimferrer Morató, 2009)

#### **3.3.4.2 Comparación del tratamiento de antipardeamiento**

En la prueba de inmersión en ácido cítrico, después del proceso de secado (2 semanas a temperatura ambiente) mediante prueba visual se determinó que el color del endocarpio inmerso en el jugo de limón fue el que presentó mejor aspecto visual y estético resultando ser de un color más claro, mientras que el color del endocarpio inmerso en jugo de naranja agria resultó ser de color marrón oscuro. Por lo que se seleccionó el endocarpio sumergido en jugo de limón.

**Figura 10.** Comparación del endocarpio después de ser sumergidos en jugo de naranja agria y jugo de limón



Nota: Como conclusión de la prueba de comparación resulto más efectivo trabajar el ácido cítrico (jugo de limón), ya que no había presencia de oxidación.

### 3.3.4.3 Rendimiento del almidón

Se siguió el procedimiento descrito por (Rosales A. , 2016), para la determinación del porcentaje de almidón. Se emplean los datos del peso del almidón obtenido y el peso de la cáscara más almidón, en donde se utiliza la ecuación descrita a continuación:

$$\%rendimiento = \left[ \frac{\text{peso final del almidón}}{\text{peso de la cáscara + almidón}} \right] * 100\%$$

#### **3.3.4.4 Determinación del contenido de humedad del biopolímero**

Este procedimiento se determinó a partir del método gravimétrico descrito en la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) method 934,01 (2005). El contenido de humedad se evaluó por la pérdida de peso de la muestra secada a 105 °C por 24 horas hasta obtener un peso constante. Esto garantizó que toda la humedad de la muestra se volatilizara.

Los cálculos se realizaron a partir de la ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_3}$$

**en donde:**

**m** = masa del crisol más la muestra húmeda en (g)

**m<sub>1</sub>** = masa del crisol más la muestra húmeda en (g)

**m<sub>2</sub>** = masa del crisol más la muestra seca en (g)

**m<sub>3</sub>** = muestra húmeda

#### **3.3.4.5 Determinación de la densidad del biopolímero**

La densidad se determinó pesando el biopolímero por triplicado. Se utilizó una balanza analítica con una precisión de 0,1 mg. Se utilizó una probeta cilíndrica de 25 ml de capacidad, esta se llenó con 15 mL de agua destilada y se agregó el biopolímero previamente cortado en láminas cuadradas de 4 cm<sup>2</sup> de área con ayuda de una pinza. La probeta con el contenido se agitó con una varilla de vidrio sólido con el propósito de llenar los espacios vacíos. Se registró el volumen inicial y final para cada caso.

La ecuación utilizada para el cálculo se describe a continuación:

$\rho = m/v$ , en donde:  $\rho$  = densidad del biopolímero, (g/cm<sup>3</sup>)

$m$  = masa del biopolímero, (g)

$v$  = volumen ocupado por el biopolímero, (ml o cm<sup>3</sup>)

### **3.3.4.6 Determinación de Espesor**

Según (Branch, 2020), El espesor es una distancia perpendicular entre dos superficies planas bajo una presión constante y uniforme. Por lo que, se mide con un instrumento denominado micrómetro.

El espesor del biopolímero se determinó siguiendo la metodología establecida en (P Montoya, J Grasso, & F Y Melchiorre, 2021) con un micrómetro mecánico marca Schwyz, capacidad 0-1mm. La metodología citada se modificó utilizando un vernier (0-6 de acero inoxidable) con una sensibilidad de ( $\pm 0,02$  mm) marca Starter, en donde se determina la selección de 15 localizaciones al azar para tres réplicas del material.

### **3.3.4.7 Biodegradabilidad a la intemperie**

De acuerdo a la metodología utilizada por (Arrivillaga & Humberto, 2013), se estima que primero se tienen que pesar las muestras en una balanza analítica, posterior a eso se colocan las muestras en un recipiente sin tapa. Para la prueba del porcentaje de biodegradación a la intemperie en esta investigación, se modificó utilizando platos petri sin tapa, en donde se colocó el biopolímero. Estas se colocaron al aire libre expuesto a la luz solar. Se determinó un lapso de tiempo de 60 días y después se pesaron las muestras en una balanza analítica. Las pruebas de biodegradabilidad se hicieron por triplicado.

El cálculo del porcentaje de biodegradabilidad se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$100 - [( \text{peso final} / \text{peso inicial} ) * 100]$$

### **3.3.4.8 Biodegradabilidad en el Agua**

Así mismo, siguiendo la metodología de la biodegradabilidad en agua expresada por (Arrivillaga & Humberto, 2013), se tomaron los pesos iniciales de las muestras en una balanza analítica. Esta prueba fue realizada por triplicado, al igual que las anteriores. Las porciones del biopolímero se cortaron en secciones de 3x3 cm, y se introdujeron en Beaker con 15 ml de agua destilada. Se taparon con aluminio los Beaker y se dejó en reposo absoluto por 30 días. Se pudo observar la fragmentación del biopolímero en cada uno de los Beaker, lo cual se pudo determinar que se degradó con mayor facilidad que en los otros medios de prueba, por lo que podríamos decir que las propiedades mecánicas de los biopolímeros a partir de almidón son muy débiles frente al agua.

El cálculo del porcentaje de biodegradabilidad se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$100 - [(\text{peso final}/\text{peso inicial}) * 100]$$

## CAPITULO IV



BIOPOLIMERO

## 4.1 Análisis de resultados

En este capítulo se aborda el análisis de resultados obtenidos a partir del estudio implementado de la cáscara de plátano. Cabe mencionar que se inicia con el rendimiento obtenido durante el proceso implementado.

### 4.1.1 Rendimiento del almidón

Se determinó el porcentaje de rendimiento de almidón. En el cual se obtuvo un peso de 429,9 g, lo cual fue sometido al proceso de secado, molido y tamizado, obteniendo así un 20,8% de rendimiento de almidón.

$$\%rendimiento\ harina = \left[ \frac{\textit{peso final del almidón}}{\textit{peso de la cáscara + almidón}} \right] * 100\%$$

$$\% \textit{rendimiento harina} = \left[ \frac{(429,9 \textit{ g})}{(2069,5 \textit{ g})} \right] * 100\%$$

$$\% \textit{rendimiento harina} = 20,8\%$$

El rendimiento obtenido de 20,8% fue comparado con otros estudios similares. (Arrivillaga & Humberto, 2013), realizaron su informe de tesis titulada “Síntesis caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa Sapientum* variedad *Cavendish*)”, el cual indica que el porcentaje de almidón extraído fue de 24,03% equivalente al valor obtenido en esta investigación. Así mismo, (Rosales A. , 2016) en su tesis de grado “Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)” utilizó un método de polimerización por condensación, y obtuvo un porcentaje de rendimiento de almidón de 22,6%.

Recapitulando, en la presente investigación se mostraron resultados similares a los reportados anteriormente, siguiendo el procedimiento de secado, molido y tamizado del material extraído a partir de la cáscara del plátano. Las diferencias se pueden explicar por la cantidad de compuestos celulósicos y otros componentes de la cáscara presentes.

#### **4.1.2 Elaboración del biopolímero a partir del almidón obtenido**

Para la elaboración del biopolímero se llevaron a cabo 11 muestras, por el cual se aplicó en todas las muestras la misma temperatura, expresada a continuación:

**Tabla 5.** *Temperatura utilizada para la elaboración del biopolímero*

<b>Temperaturas que se llevaron a cabo en las 11 muestras</b>	
<b>Materia prima + Insumo</b>	<b>Temperatura</b>
Almidón + Agua destilada	Constantemente hasta alcanzar un 45°C
<b>Reactivos</b>	
Ácido acético	45 °C
Glicerol	55°C
<b>Hasta alcanzar una temperatura final de 70°C, y obtener una mezcla pastosa.</b>	

Se elaboraron 11 muestras de biopolímeros, a partir de diferentes concentraciones de los componentes. En la siguiente tabla (6) se detallan las concentraciones de cada muestra:

**Tabla 6.** Concentraciones para elaborar el biopolímero

Nº de Muestra	Cantidad de Almidón (g)	Cantidad de Agua destilada (mL)	Cantidad de Ácido acético (mL)	Cantidad de Glicerina (mL)
1	7,5 g	40 mL	4,8 mL	31,7 mL
2	10 g	40 mL	4,8 mL	31,7 mL
3	12,5 g	40 mL	4,8 mL	31,7 mL
4	15 g	40 mL	4,8 mL	31,7 mL
5	10 g	40 mL	4,8 mL	30 smL
6	10 g	30 mL	5 mL	40 mL
7	5 g	20 mL	10 mL	5 mL
8	4 g	20 mL	5 mL	5 mL
9	5 g	20 mL	10 mL	10 mL
10	12 g	60 mL	15 mL	15 mL
11	8 g	40 mL	10 mL	10 mL

Fuente: elaboración propia

De las muestras con concentración de 4 g de almidón, 20 mL de agua destilada, 5 mL de ácido cítrico y 5 mL de glicerina, fue elaborado el biopolímero adecuado en esta investigación, fue una elección visual y clara, ya que el biopolímero físicamente no tenía grumos ni fisuras, dando un grosor no tan espeso y plano, por tanto no era una pasta tan líquida, es decir que no había mucha presencia de humedad en los primeros días que fue elaborado, resultó dando una apariencia bastante seca, lo cual conllevó muy bien en su proceso de secado. Así mismo, fue al único que se le determinaron los parámetros físicos de calidad descritos en esta investigación.

Los biopolímeros elaborados que no fueron tomados en cuenta se determinó que fue por las grandes cantidades de almidón lo cual da una apariencia más grumosa junto con la glicerina, figurando muy espesa y frágil. Es decir no hubo una neutra elección con cantidades bajas lo cual dieron como resultado un aspecto débil para poder considerarse biopolímero y para haberse determinado en ellos los parámetros físicos planteados.

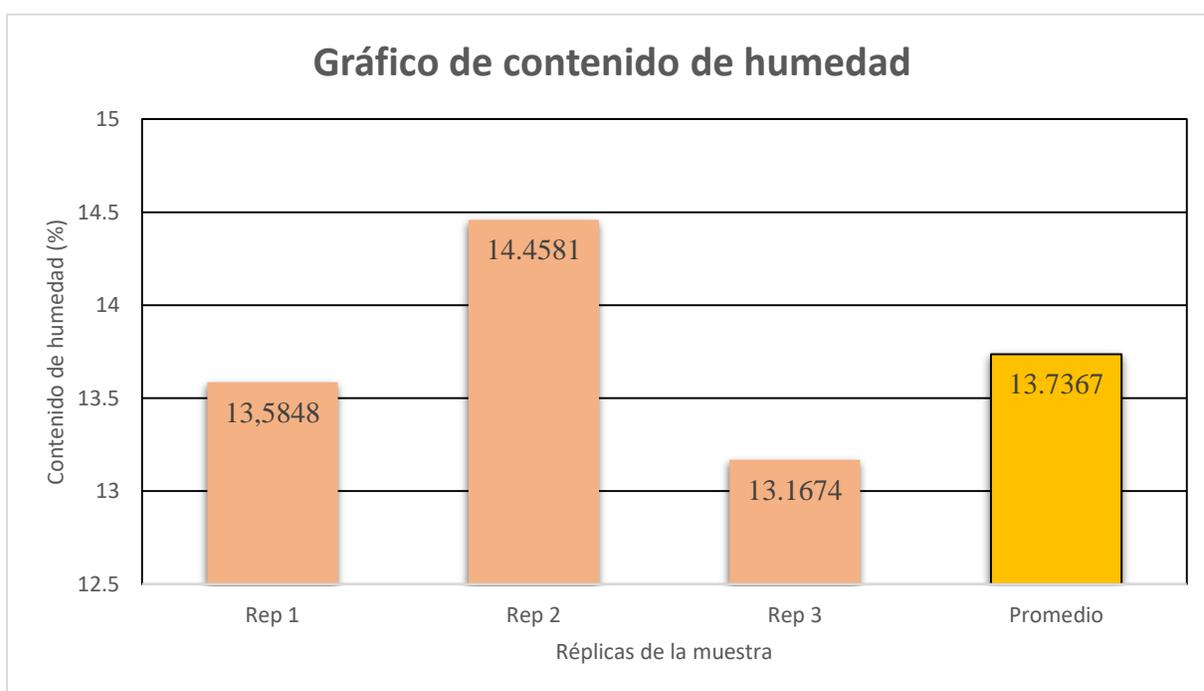
## 4.2 Discusión de resultados físicos y químicos

A continuación, se detallan los resultados correspondientes a las distintas pruebas físicas y químicas del producto obtenido:

### 4.2.1 Determinación del % de humedad del biopolímero

Los resultados se presentan en el siguiente gráfico:

**Figura 11.** Representación gráfica del porcentaje de humedad



Fuente: elaboración propia

El resultado de la determinación de humedad obtuvo un promedio de 13,73% de las tres réplicas sometidas a ensayo. Se comparó con los resultados obtenidos por (Vásquez, 2017) en su estudio de “Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*)”. El investigador determinó el contenido de humedad de nueve tratamientos y su resultado fue de 14,93%, valor próximo al 13,73% de humedad obtenido en esta investigación. Así mismo, (Rosales A. , 2016) obtuvo un contenido de humedad promedio de 18,61% en su tesis de grado “Obtención de

biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)”. La diferencia de los porcentajes se debe a los distintos métodos empleados y a las diversas cantidades utilizadas de glicerina en la elaboración del biopolímero, por lo que el glicerol y la humedad son directamentes proporcionales debido a su carácter hidrofílico del mismo.

**Figura 12.** *Determinación del porcentaje de humedad*

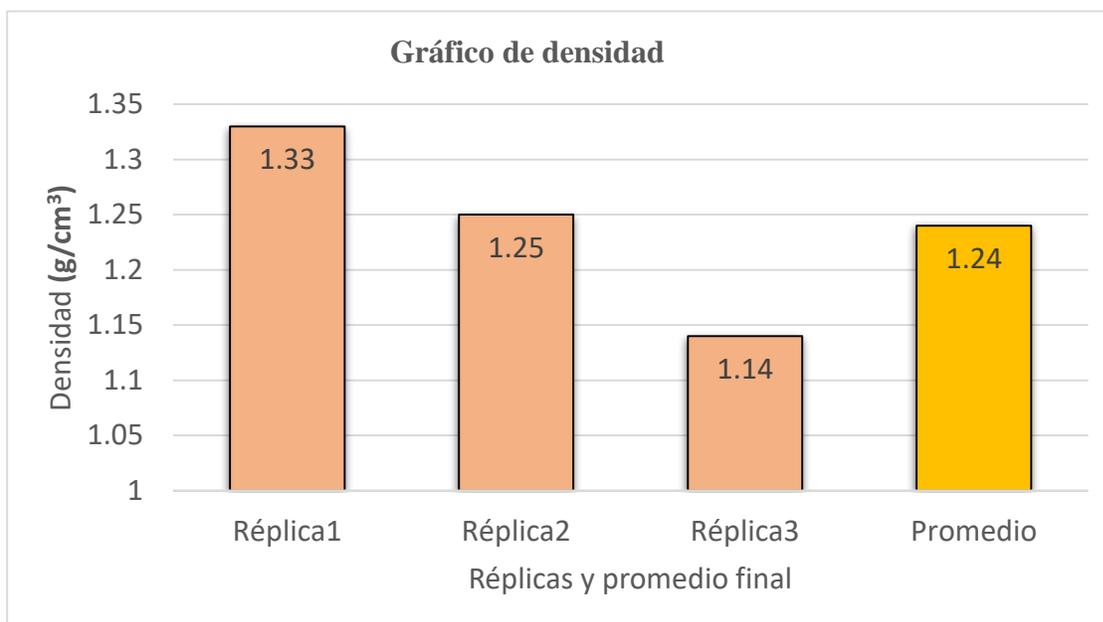


Fuente: elaboración propia

#### 4.2.2 Determinación de densidad del biopolímero

El gráfico de la figura 13, se muestran los resultados obtenidos:

**Figura 13.** Representación gráfica de la densidad



Fuente: elaboración propia

En esta investigación se obtuvo una densidad del biopolímero de 1,24 g/cm<sup>3</sup> la que resultó ser cercano al valor obtenido en su informe de tesis (Rosales A. , 2016), lo cual tuvo como resultado un biopolímero a partir del almidón de la malanga con una densidad de 0,93 g/cm<sup>3</sup>. Así mismo, (Calero Zurita & Lapo Manchay, 2021) en su proyecto de investigación obtuvo una densidad del bioplástico con variaciones al momento de realizar su cálculo, los cuales fueron: 1,07 g/cm<sup>3</sup>, 1,39 g/cm<sup>3</sup>, 0,72 g/cm<sup>3</sup>, que por ende, también son valores cercanos al obtenido en la investigación.

**Figura 14.** *Determinación de Densidad*



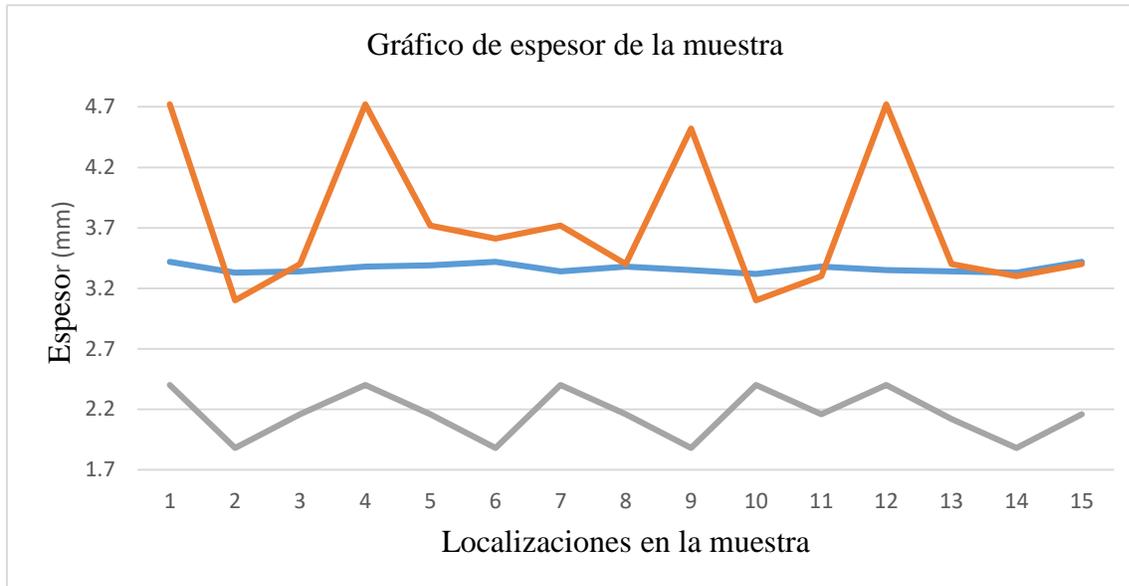
Fuente: Elaboración propia

### **4.2.3 Determinación de Espesor**

En la siguiente grafica se presentan los resultados obtenidos del espesor, en el eje vertical se muestran los promedios de cada una de las muestras y en el eje horizontal las localizaciones realizadas. En la primera muestra se determino un resultado promedio de 3,36 mm, en la segunda 3,74 mm y en la tercera 2,15 mm adquiriendo un promedio total de 3,08 mm.

Los resultados se representan en el siguiente gráfico:

Figura 15. Representación gráfica del espesor



Fuente: elaboración propia

En la presente investigación el espesor del biopolímero obtenido presentó variantes en cada una de las réplicas, dando un resultado un promedio de 3,08 mm valor que está por encima del reportado por (Moreno Toasa, 2015), que desarrolló su trabajo de graduación de películas biodegradables obtenidas a partir de la harina de plátano (*Musa balbisiana*) y mostró resultados que oscilaron en el rango de  $0,21 \pm 0,04$  a  $0,27 \pm 0,04$  mm. Esto sugiere la formación de irregularidades producidas en la superficie del material por la hinchazón de los gránulos del almidón debido a que la amilopectina absorbe mucha agua y representa más del 70% del almidón, por tanto, el espesor mostró variantes en cada una de las réplicas.

**Figura 16.** *Determinación de espesor*



Fuente: elaboración propia

#### **4.2.4 Determinación de biodegradabilidad**

Las pruebas de biodegradabilidad al biopolímero obtenido se hicieron en tres ambientes: en el suelo, en el aire y en el agua. Los resultados para esta prueba se muestran a continuación:

##### **4.2.4.1 Biodegradabilidad en el suelo**

Para esta prueba introducimos tres réplicas del biopolímero en un medio fértil como es el caso del suelo húmedo. Se incrusto una porción de biopolímero de un 5x5 cm a unos 15 cm de profundidad en las tres réplicas. Se dejó un lapso de tiempo de 60 días, y al momento de desenterrarlo ya estaba degradado por lo que no se pudo determinar el peso final en esta prueba.

Respecto al análisis precedente, (Rosales A. , 2016) expresa que si un biopolímero es introducido bajo suelo húmedo, y se controla que el suelo se mantenga siempre en esa condición, el biopolímero tarda 8 semanas en degradarse ya que este no es muy resistente a la humedad. Asi mismo (Simón, 2021) Explica, que las bacterias y hongos son los microorganismos que más proliferan en el medio (suelo), siendo estos capaces de biodegradar polímeros, ya que los

materiales orgánicos resultantes de su biodegradación son una fuente de alimento para ellos. Además los suelos presentan diferentes tipos de hábitats por lo cual también en la biodegradación influyen la humedad, temperatura, compactación, aireación, y la presencia de otros organismos y sustancias.

**Figura 17.** *Determinación del porcentaje de biodegradabilidad a los 60 días en el suelo*



Fuente: elaboración propia

#### 4.2.4.2 Biodegradabilidad a la intemperie

La siguiente tabla muestra los resultados del porcentaje de biodegradación a la intemperie:

**Tabla 7.** *Porcentaje de biodegradación a la intemperie*

Muestra	Prueba	Fecha Inicial	Peso Inicial (g)	Fecha Final	Peso Final (g)	Diferencia (g)	Peso Inicial Total (g)	Peso Final Total (g)	Diferencia Total (g)	Degradabilidad %
*JL-110-1	<b>Intemperie</b>	10/09/21	3,13	10/11/21	2,85	0,28	9,50	8,45	1,05	11,05
JL-110-2			3,16		2,77	0,39				
JL-110-3			3,21		2,83	0,38				

Nota: \*JL-M1: cáscara de plátano en jugo de limón, muestra 1 Fuente: elaboración propia

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

En resultados de biodegradabilidad a la intemperie (Arrivillaga & Humberto, 2013), desarrollaron en su informe de tesis bajo el tema “Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa Sapientum* variedad Cavendish)”, en el que realizó cuatro formulaciones en la prueba de biodegradabilidad a la intemperie, en la primera formulación utilizando solamente glicerol y ácido acético dio como resultado 5,28 % de degradabilidad. El resultado obtenido en la investigación (11,05%), está por encima al porcentaje de biodegradabilidad que fue comparado en lo antes mencionado. Posiblemente se debió a la diferencia en las condiciones ambientales que se utilizaron en ambos trabajos, además, de influir las cantidades de ácido acético y glicerol utilizadas.

**Figura 18.** *Determinación del porcentaje de biodegradabilidad a los 60 días en la intemperie*



*Nota: A partir de la segunda semana el biopolímero se comenzó a fisurarse Fuente: elaboración propia*

#### **4.2.4.3 Biodegradabilidad en el agua**

El biopolímero que se sumergió en agua por 30 días, se degradó con mayor facilidad que en los otros medios de prueba, por lo que podríamos decir que las propiedades mecánicas de los biopolímeros a partir de almidón son muy débiles frente al agua.

**Tabla 8.** Pruebas de biodegradabilidad del biopolímero en el agua

Muestra	Prueba	Fecha Inicial	Peso Inicial (g)	Fecha Final	Peso Final (g)	Diferencia (g)	Peso Inicial Total (g)	Peso Final Total (g)	Diferencia Total (g)	Degradabilidad %
*JL-110-1	Agua	10/09/21	2,23	10/10/21	1,55	0,68	6,30	4,57	1,73	27,46
JL-110-2			2,02		1,50	0,52				
JL-110-3			2,05		1,52	0,53				

Nota: \*JL-M1: cáscara de plátano en jugo de limón, muestra 1, Fuente: elaboración propia

Cabe destacar que el porcentaje de biodegradabilidad en agua fue de (27,46%). Si comparamos los resultados con los realizados por (Arrivillaga & Humberto, 2013), en su trabajo de tesis “Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa Sapientum* variedad *Cavendish*)”, de acuerdo a sus resultados, obtuvieron un 22,95 % de biodegradabilidad en agua, valor próximo al porcentaje de biodegradabilidad de esta investigación.

La norma ASTM D6400 define a un polímero biodegradable como un material que es capaz de descomponerse en CO<sub>2</sub>, metano, agua, componentes inorgánicos o biomasa, como resultado de la acción de microorganismos. La desintegración física del material debe desintegrarse en un 90% en fragmentos menores a un tamaño específico (usualmente 2x2 mm), dentro de un plazo determinado según la norma (12 semanas). (ADAPT Advanced Plastic Technologies, 2020)

**Figura 19.** *Biodegradabilidad a los 30 días en agua*

Días	Imagen
5° quinto	 A petri dish containing a small amount of dark brown, solid material, likely the biopolymer, after 5 days of biodegradation in water.
10° décimo	 A petri dish containing a larger amount of dark brown, solid material, showing further biodegradation after 10 days.
30° trigésimo	 A petri dish containing a large amount of dark brown, solid material, showing significant biodegradation after 30 days.

Fuente: elaboración propia

## **CAPITULO V**



**BIOPOLIMERO**

## 5.1 Conclusiones

- ✓ Se efectuó la extracción de almidón mediante el rayado de la cáscara de plátano, una vez que se llevo a cabo por el proceso de secado, molido y tamizado se obtuvo el almidón en polvo, el cual fue materia prima para la elaboración del biopolímero.
- ✓ Se determinó el rendimiento del almidón después de haber sido sometido por el proceso de secado, molido y tamizado obteniendo un 20,8% de rendimiento.
- ✓ Se obtuvo un biopolímero utilizando como materia prima la cáscara de plátano (*Musa Sapientum*). El almidón obtenido se aisló de la cáscara mediante un tratamiento químico a escala de laboratorio, el que resultó ser óptimo en las condiciones en las que se desarrolló la experimentación.
- ✓ Se determinaron los parámetros físicos de calidad del biopolímero obtenido, el cual se biodegradó en agua a los 30 días, en suelo en 60 días y a la intemperie 60 días. De igual manera resultando la densidad del biopolímero de  $1,24 \text{ g.cm}^{-3}$ , el contenido de humedad fue de 13,73%, y el espesor fue de 3,08 mm.

Por lo que, se cumple la hipótesis de la investigación, en donde se afirma que el almidón extraído del endocarpio de la especie (*Musa Sapientum*) es apto según los parámetros de calidad para su transformación en el biopolímero.

## **5.2 Recomendaciones**

- ✓ Utilizar el jugo de limón como un agente antioxidante de las películas de almidón, ya que se obtienen mejores resultados de aspecto estético.
  
- ✓ Se recomienda un estudio más a fondo del biopolímero siguiendo esta metodología para mejorar sus propiedades y para elaborar, a futuro, un bioplástico y su implementación a escala industrial, a nivel nacional e internacional que pueda reemplazar los plásticos sintéticos, y de su posible lanzamiento como un nuevo producto al mercado.
  
- ✓ En cuanto a la relación agua-almidón, se recomienda considerar concentraciones menores al 10% de almidón en la solución, esto evitara que la mezcla que tiende a generar una solución poco estructurada por la presencia de la amilosa y un producto final poco viable en todos los parámetros evaluados y por efecto aumentar los costos por el mayor uso de la materia prima.
  
- ✓ Es importante generar alternativas amigables con el medio ambiente, con el fin de reemplazar plásticos comunes y asu reducir la contaminación meorando la calidad de vida de los seres que habitan nuestro planeta.
  
- ✓ Realizar más parámetros físicos al biopolímero, además de los que fueron realizados en la investigación.

### 5.3 Glosario

**Biodegradable:** es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

**Biopolímero:** Los biopolímeros son macromoléculas de diferentes orígenes, derivados del petróleo, de origen vegetal y muchos son de origen sintético.

**Exocarpio:** Capa externa del pericarpio (pared del fruto).

**Endocarpio:** Capa interna de las tres que forman el pericarpio de los frutos.

**Antioxidantes:** son sustancias naturales o fabricadas por el hombre que pueden prevenir o retrasar algunos tipos de daños a las células. Los antioxidantes se encuentran en muchos alimentos, incluyendo frutas y verduras.

**Almidón:** El almidón es uno de los polisacáridos más importantes; se trata de un hidrato de carbono de peso molecular elevado, formado por la unión de un gran número de unidades de monosacáridos, concretamente de amilosa y amilopectina.

**Polímero:** Los polímeros se definen como macromoléculas que se obtienen por la unión de una o más moléculas pequeñas repetidas a lo largo de una cadena. La unidad que se repite en el polímero es el monómero y la reacción por la que se forman es la reacción de polimerización.

**Bioplástico:** El bioplástico es un tipo de plástico, fabricado a partir de plantas o materiales biológicos y no los típicos ingredientes derivados del petróleo. Por lo general, es utilizado para elaborar productos que suelen tener un solo uso. El bioplástico se desecha con en el contenedor de residuos orgánicos y cuando se junta con los microorganismos de los desechos orgánicos, se degrada.

**Polimerización:** Es un conjunto de reacciones químicas mediante las cuales, moléculas simples, ya sean iguales o diferentes entre sí, interactúan para formar otras moléculas de mayor peso que las moléculas originales (más del doble del peso original de las moléculas).

## 5.4 Bibliografía

- (MAGFOR), (IICA). (2004). *Cadena Agroindustrial del plátano*. Managua. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de <http://repositorio.iica.int/handle/11324/6583>
- Blasco López, G., & Gómez Montano, F. (27 de noviembre de 2014). Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). Obtenido de [https://www.uv.mx/.../revmedica\\_vol14\\_num2/articulos/propiedad...](https://www.uv.mx/.../revmedica_vol14_num2/articulos/propiedad...) · Archivo PDF
- Méndez Hernández, C., & Rodríguez Serrano, M. (junio de 2016). *Deshije de una platanera*. Agro Cabildo. Recuperado el 14 de octubre de 2021, de [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt\\_596\\_platanera.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_596_platanera.pdf)
- (Remar. (2011) ). ciencias e ingenierias.pdf.
- Aguilar, C., Carrillo, F., Parreño, J., Díaz, S., & Vallejo, L. (26 de junio de 2014). *Prueba de Almidón*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias , Ecuador. Recuperado el 16 de noviembre de 2021, de <https://sites.google.com/site/laboratoriosbioquimica/bioquimica-i/prueba-del-almidon?msclkid=d317e557c37d11ec8c5f606d79f94b04>
- Alemán, S. (12 de octubre de 2018). *Agrotendencia*. Recuperado el 08 de febrero de 2021, de Agrotendencia: <https://agrotendencia.tv/agropedia/platano-cultivo-y-manejo-agronomico/>
- Amador Suárez, C., & Castillo, J. (2014). *Selección de plantas superiores de banano Gros Michel (AAA) en asocio café- árboles en cuatro fincas de la comunidad Yasica Sur San Ramón, Matagalpa, II semestre del año 2013*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, UNAN-FAREM Matagalpa, Matagalpa. Recuperado el 13 de noviembre de 2021, de <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/6991>
- Andino, C. (2008). *Tesis de Grado, Estabilidad Congelación/Descongelación y Análisis de Textura de Mezclas de Almidones Andinos*. Universidad San Francisco de Quito, Quito-Ecuador. Recuperado el 22 de abril de 2022, de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1220/1/90359.pdf?msclkid=af0f2257c38d11ec9d82949d80927ea5>
- Arrivillaga, I., & Humberto, C. (2013). *Tesis de Sintesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa sapientum variedad Cavendish)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ciencias química y farmacia, Guatemala. Recuperado el 05 de 2021 de diciembre, de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1306.pdf>

- Barreto, V. (2019). Obtención y aplicación de almidones. Perú. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4250/velasquez-barreto-frank-fluker.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bejarano Martínez, N. L. (2018). *Estudio de las propiedades mecánicas de un biopolímero a partir del contenido de almidón de cáscara de plátano*. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa-Perú. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7578/MTbemanl.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Blanco Beteta, F., & Carcache Vega, M. (2007). *Análisis Multisectorial para identificar brechas tecnológicas y retos para el desarrollo del sector musáceas en Nicaragua*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 18 de noviembre de 2021, de <http://www.funica.org.ni/docs/Analisis-musaceas.pdf>
- Branch, D. (agosto de 2020). *Idoc Pub*. Recuperado el 22 de abril de 2022, de <https://idoc.pub/documents/determinacion-del-espesor-y-gramaje-de-materiales-de-envase-y-embalaje-6ngeg8e8gjlw>
- Briones Martínez, N. (2011). *“Análisis de Eficiencia Técnica – Económica, de los pequeños y medianos productores de plátano, de Altagracia, Isla de Ometepe, Rivas (2009-2010).”*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Recinto Universitario “Carlos Fonseca Amador”, Managua. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de <https://repositorio.unan.edu.ni/12413/1/Tesis%20Final%20eficiencia%20%2016%2006%2011.pdf>
- Cajigas, E. (06 de Diciembre de 2017). 3 estudiantes mexicanos desarrollan plásticos biodegradables con cáscaras de plátanos. *Ecoportal*. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <https://www.ecoportal.net/paises/bioplasticos-platanos/>
- Calderón, G. M. (2018). *Cultivo del plátano*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova, El Salvador. Recuperado el 20 de enero de 2021, de [www.centa.gob.sv/2015/platano](http://www.centa.gob.sv/2015/platano)
- Calero Zurita, M., & Lapo Manchay, E. (2021). *Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (Musa Paradisiaca) con aplicación para uso de empaquetado de alimentos*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo-Los Ríos-Ecuador. Recuperado el 23 de abril de 2022, de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6123/1/T-UTEQ-103.pdf>

- Canales, A. &. (1996). *Metodología de la investigación, Manual para el Desarrollo de personal de Salud*. OPS. Recuperado el 22 de abril de 2022
- Cárdenas Freire, M. (2018). *Extracción de almidón a partir de residuos de banano (Musa Paradisiaca) para la elaboración de un biopolímero*. Universidad Politécnica Salesiana , Cuenca Ecuador. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., & Gutiérrez, R. (agosto de 2015). *Bioplástico a base de la cáscara de plátano*. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de Panamá . Panamá: Centro Regional de Veraguas. Recuperado el 15 de enero de 2021, de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/339>
- CEDAF. (2000). *El cultivo del plátano*. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Santo Domingo, República Dominicana. Recuperado el 23 de febrero de 2021, de <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/platano.pdf>
- Echeverria, S. (mayo de 2014). *Bioplásticos para aplicaciones en envases y embalaje*. Universidad Nacional de Mar del plata , Argentina. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/189/SEcheverria-TFG-IM-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García Astillero, A. (10 de julio de 2019). *Ecología Verde*. Recuperado el 23 de abril de 2022, de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-plasticos-causas-consecuencias-y-soluciones-2114.html?msclkid=9244c3b0ca0511ec99831fbecfbd536>
- García Quiñónez , A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. Escuela especializada en ingeniería ITCA-FEPADE, El Salvador. Recuperado el 2022 de enero de 2021, de <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf?msclkid=3345fee9c1bc11ecaf92ec2f508e80d7>
- García Vásquez, I. (2017). *Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en Pucallpa*. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Académico-Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Pucallpa-Perú. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3626/000003196T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- García, C. (10 de mayo de 2015). Recuperado el 22 de abril de 2022, de <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2015/05/bioplasticos.html>
- García, G. R. (2019). *Obtención de un Biopolímero a partir de harina de plátano de desecho (Musa x Paradisiaca)*. Instituto Tecnológico de VillaHermosa, VillaHermosa Tabasco. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de [http://itvillahermosa.edu.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio\\_de\\_tesis\\_2014-2020/GRISELDA%20RUIZ%20GARCIA%20TESIS.pdf](http://itvillahermosa.edu.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio_de_tesis_2014-2020/GRISELDA%20RUIZ%20GARCIA%20TESIS.pdf)
- Gimferrer Morató, N. (17 de agosto de 2009). *Consumer*. Recuperado el 22 de abril de 2022, de *Consumer*: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/evitar-el-oscurecimiento-de-los-alimentos.html?msclkid=a9bdb9a0c9f711ecaf678725d0914277>
- González, J. (23 de abril de 2017). *producción agrícola vegetal*. Recuperado el 08 de febrero de 2021, de *producción agrícola vegetal*: <http://produccionagricolavegetalunesur.blogspot.com/2017/04/partes-de-una-planta-de-musaceas.html>
- Guadrón Delgado, E. N. (2013). *Tesis Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majocho verde (Musa sp. variedad cuadrado), para su uso en la industria e alimento*. Salvador. Recuperado el 05 de febrero de 2021, de <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/160922>
- Hidalgo Ortiz, A. X., & Micho Ymaña, N. S. (2016). *Tesis Modificación química de almidón nativo de Maca (Lepidium peruvianum) en sus características fisicoquímicas y reológicas*. Perú. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4767/Hidalgo%20Ortiz%20-%20Micho%20Yma%20C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Holguin Cardona, J. S. (2019). *Tesis de Grado, Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*. Bogotá. Recuperado el 25 de febrero de 2021, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Huerta Andrade, E. (2018). *Tesis Efecto del dióxido de titanio sobre las propiedades antimicrobianas de películas elaboradas a partir de almidón de frijol (phaseolus vulgaris. L)*. Oaxaca México, San Juan Bautista Tuxtepec. Recuperado el 25 de febrero de 2021, de [https://www.unpa.edu.mx/tesis\\_Tux/tesis\\_digitales/maestria\\_biotecnologia/MB27-\\_Esbeydi\\_Huerta\\_Andrade.pdf](https://www.unpa.edu.mx/tesis_Tux/tesis_digitales/maestria_biotecnologia/MB27-_Esbeydi_Huerta_Andrade.pdf)

- Lara Ramos, L., & Vera Alcívar, L. (2011). *Adición de Prebiótico en la Elaboración de Compota de Banano (Musa Sapientum L.)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo-Los Ríos-Ecuador . Recuperado el 22 de abril de 2022, de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3561/1/T-UTEQ-0011.pdf>
- López, O. (2011). *Tesis Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón*. Universidad Nacional de La Plata , Argentina. Recuperado el 25 de febrero de 2021, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento\\_completo.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- MAG. (2019). *(MAG) Producción de plátanos aporta al dinamismo económico de Nicaragua*. El Ministerio de Agricultura (MAG). Recuperado el 13 de abril de 2022, de <https://www.mag.gob.ni/index.php/publicaciones/noticias/594-produccion-de-platanos-aporta-al-dinamismo-economico-de-nicaragua>
- Moreno Toasa, G. A. (2015). *Utilización de harina de plátano (Musa balbisiana) en el desarrollo de películas biodegradables activas*. Proyecto de trabajo de graduación, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería de alimentos. Carrera de Ingeniería en alimentos, Ambato.
- Obregon Vento, R. D., & Estrella Parian, P. A. (2014). *Tesis, Efecto de la modificación química del almidón nativo de papa( solanum tuberosum), sobre sus características fisico quimicas y Reologicas*. Tarma-Perú. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <https://es.scribd.com/document/437398608/Obregon-Vento-Estrella-Parian-pdf>
- P Montoya, J Grasso, & F Y Melchiorre. (2021). *Formulación y propiedades de biopolímero de recubrimiento para semillas de maní (Arachis hypogaea L.)* (Vols. Vol. 38: 15-27). Argentina. Recuperado el 22 de abril de 2022, de [https://www.researchgate.net/profile/Mariana-Melchiorre/publication/353412874\\_Formulacion\\_y\\_propiedades\\_de\\_biopolimero\\_de\\_recubrimiento\\_para\\_semillas\\_de\\_mani\\_Arachis\\_hypogaea\\_L/links/60fade831e95fe241a83d56f/Formulacion-y-propiedades-de-biopolimero-de-rec](https://www.researchgate.net/profile/Mariana-Melchiorre/publication/353412874_Formulacion_y_propiedades_de_biopolimero_de_recubrimiento_para_semillas_de_mani_Arachis_hypogaea_L/links/60fade831e95fe241a83d56f/Formulacion-y-propiedades-de-biopolimero-de-rec)
- Pan Montojo, N. (3 de Septiembre de 2020). Plásticos biodegradables. *el Ágora*. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/economia-circular/plasticos-biodegradables-solucion-ecologica-con-problemas-de-etiquetado/>
- Pinto, L., & Gómez , K. (2020). *Manejo del plátano (Musa sp) con un enfoque agroecológico*. FAO, Panamá. Recuperado el 16 de octubre de 2021, de <https://www.fao.org/3/ca9579es/CA9579ES.pdf>

- Piura López, J. (2008). *Metodología de la Investigación Científica-. un enfoque integrador.* Managua, Nicaragua: 6ta Edición. Recuperado el 17 de diciembre de 2021, de [https://www.goodreads.com/author/show/18755298.Julio\\_Piura\\_L\\_pez?msclid=36e49fdcc9ad11ec9fe8d9ce9fa4e6ee](https://www.goodreads.com/author/show/18755298.Julio_Piura_L_pez?msclid=36e49fdcc9ad11ec9fe8d9ce9fa4e6ee)
- Raimond, S. B. (2002). *Introducción a la Química de Polímeros.* Boca Raton, Florida: Reverté S.A. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de [https://books.google.com.ni/books?id=FOobaAs4Wp4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ni/books?id=FOobaAs4Wp4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Ríos Ríos, K. L. (2014). *Tesis Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutritivas de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (colocasia antiquorum y colocasia esculenta) cultivadas en el estado de Oaxaca.* Huajuapán de León, Oaxaca. Recuperado el 25 de febrero de 2021, de [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/12223.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/12223.pdf)
- Rosales, A. (junio de 2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, Departamento de Química, Managua. Recuperado el 15 de enero de 2021, de <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>
- Simón, C. (2021). *Biodegradabilidad de plásticos en agua, suelo y compost. Ensayos.* Universidad de Alcalá, San Diego-Madrid, España. Recuperado el 23 de abril de 2022
- Solis Rosales, A. (2007). *El cultivo de Plátano (genero musa) en México.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena vista, Saltillo, Coahuila, México. Recuperado el 13 de septiembre de 2021, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4956/T16494%20%20>
- Tovar Benítez, T. (2008). *Tesis Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz( Zea mays L) obtenidos por diferentes métodos de aislamiento.* Pachuca de Soto-Hidalgo. Recuperado el 25 de febrero de 2021, de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion%20morfologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf;jsessionid=18479505C2461EBC2B9BAE4771194890?sequence=1>
- Velásquez, I. (2017). *Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en Pucallpa.* Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali. Recuperado el 05 de marzo de 2021, de

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU\\_ccea5edd5aff60f5dbe823811f2cb937](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU_ccea5edd5aff60f5dbe823811f2cb937)

vicentfe. (09 de abril de 2020). La platanera. *Revista digital del campo Agro Cultivo*. Recuperado el 15 de febrero de 2021, de <https://agrocultivo.es/la-platanera/>

## 5.5 Anexos

### Sección A1. Reactivos Utilizados

Figura A1. 1



Fuente: elaboración propia

Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez

## **Sección A2. Proceso ilustrativo detallado de la elaboración del biopolímero**

### ***Ilustración A2. 1***

*Pesaje de las cáscaras de plátano y extracción del almidón*



*Nota:* El peso total de las cáscaras de plátano fue de 30,50kg. Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

**IFigura A 2.2**

*Inmersión del almidón extraído en el jugo de limón, pesaje de las cáscaras de plátano y almidón extraído.  
Trituración del almidón en el molino y luego con la ayuda del mortero y pilón*



*Fuente:* Elaboración propia



*Fuente:* elaboración propia

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

**Ilustración A2.3**

*Harina de almidón y verificación de la presencia de almidón con solución de yodo (Lugol)*



Fuente: elaboración propia

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

**Figura A2.4**

*Determinación de biodegradabilidad en el agua*



**Figura A2.5**

*Peso del almidón*



*Fuente: elaboración propia*

**Figura A2. 6**

*Mezcla de reactivos utilizados para la realización del biopolímero*



**Figura A2. 7**

*Primera prueba del biopolímero*



*Nota:* realizado sin tener en cuenta que el orden a diferentes temperaturas con que será aplicado cada reactivo, es muy importante para su respectiva cocción. *Fuente:* elaboración propia.

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

Figura A2. 8

Producto final, biopolímero



Agua destilada  
20 mL

Glicerina  
5 mL



4 gramos de  
almidón

Ácido acético: 5  
mL

Fuente: elaboración propia

**Figura A2.9**

*Biopolímeros considerados (errores)*



Fuente: elaboracion propia

*Vanessa del Carmen González Martínez  
Virmara Lisbeth Reyes Torrez*

### Sección A3.1 Tablas de resultados de parámetros físicos y químicos del biopolímero

**Tabla A3.1**

*Resultados de contenido de humedad*

<b>Resultados del Contenido de humedad (%)</b>									
Código	Numero de crisol	Masa de Muestra (g)	Peso del crisol vacío (g)	Peso de la muestra Secada al horno 105°C (g)	Peso de muestra 105°C (g)	% de Humedad	Resultado PROM. (%)	SD	%RSD
JL-M1*	1	3,3125	20,4894	23,7104	3,2210	13,5848	<b>13,7367</b>	<b>0,6586</b>	<b>4,7946</b>
JL-M2	2	3,2619	18,6827	21,8404	3,1577	14,4581			
JL-M3	3	3,0167	19,2164	22,1304	2,9140	13,1674			

*Nota: \*JL-M1: cáscara de plátano en jugo de limón, muestra 1. Fuente: elaboración propia*

**Tabla A3.2**

*Resultados de densidad del biopolímero*

Identificación	Masa del biopolímero	V <sub>o</sub> (ml)	V <sub>f</sub> (ml)	V <sub>f</sub> -V <sub>o</sub> (ml)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Réplica1	5,58	15	19,2	4,2	1,33
Réplica2	4,63	15	18,7	3,7	1,25
Réplica3	4,12	15	18,6	3,6	1,14
				Promedio	1,24
				Desviación estándar	0,078
				%RSD	6,281

Fuente: elaboración propia

**Tabla A3. 1**

*Resultados de espesor del biopolímero*

<b>Localización</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>
1	3,42	4,72	2,40
2	3,32	3,10	1,88
3	3,34	3,40	2,16
4	3,33	4,72	2,40
5	3,38	3,72	2,16
6	3,42	3,61	1,88
7	3,34	3,72	2,40
8	3,38	3,40	2,16
9	3,35	4,52	1,88
10	3,32	3,10	2,40
11	3,38	3,30	2,16
12	3,35	4,72	2,40
13	3,34	3,40	2,12
14	3,33	3,30	1,88
15	3,42	3,40	2,16
<b>PROMEDIO</b>	3,36	3,74	2,15
<b>Desv.estándar</b>	0,036	0,608	0,204
<b>%RSD</b>	1,078	16,249	9,523
<b>PROMEDIO TOTAL</b>	3,08		

*Fuente: elaboración propia*

## Sección A4. Tablas de datos colectados durante la investigación

Tabla A4. 1

*Pesos de la cascara de plátano vacías*

<b>Peso de las Cáscaras de Plátano vacías</b>	<b>Columna1</b>
<b>Código</b>	<b>Peso</b>
NA-110-01	45,064
NA-110-02	47,694
NA-110-03	51,435
NA-110-04	51,829
NA-110-05	63,027
NA-110-06	43,048
NA-110-07	74,778

Fuente: elaboración propia

Tabla A4. 2

*Pesos de almidón sumergidos en naranja agria*

<b>Peso de almidón sumergido en Jugo de Naranja Agria</b>	<b>Columna1</b>
<b>Código</b>	<b>Peso</b>
NA-110-01	14,848
NA-110-02	14,560
NA-110-03	17,049
NA-110-04	16,517
NA-110-05	17,370
NA-110-06	15,071
NA-110-07	16,964

Fuente: elaboración propia

**Tabla A4.3**

*Pesos de la cáscara de plátano sin almidón y peso del almidón sumergidos en limón*

<b>Código</b>	<b>Peso de la cáscara sin almidón</b>	<b>Peso del almidón</b>	<b>Peso cáscara + almidón</b>
JL-110-01	48,726	19,779	68,505
JL-110-02	55,56	16,329	71,889
JL-110-03	63,144	14,443	77,587
JL-110-04	32,266	14,332	46,598
JL-110-05	76,035	17,746	93,781
JL-110-06	58,386	14,046	72,432
JL-110-07	36,318	13,991	50,309
JL-110-08	60,94	18,805	79,745
JL-110-09	49,668	13,004	62,672
JL-110-10	36,665	14,231	50,896
JL-110-11	105,103	18,191	123,294
JL-110-12	95,709	18,52	114,229
JL-110-13	71,942	13,35	85,292
JL-110-14	128,15	21,722	149,872
JL-110-15	68,418	11,143	79,561
JL-110-16	56,986	12,787	69,773
JL-110-17	33,167	13,844	47,011
JL-110-18	48,817	12,704	61,521
JL-110-19	58,385	10,448	68,833
JL-110-20	50,389	13,376	63,765
JL-110-21	33,44	13,842	47,282
JL-110-22	54,785	13,803	68,588
JL-110-23	23,958	7,056	31,014
JL-110-24	22,385	7,322	29,707
JL-110-25	26,751	8,5	35,251
JL-110-26	39,037	11,233	50,27
JL-110-27	24,788	10,009	34.797
JL-110-28	46,571	10,379	56,95
JL-110-29	22,716	11,89	34,606
JL-110-30	50,161	12,195	62,356
JL-110-31	31,942	11,012	42,954
JL-110-32	28,19	9,937	38,127
<b>Totales</b>	<b>1639,498</b>	<b>429,969</b>	<b>2069,467</b>
<b>% Rendimiento de Almidón</b>	<b>20,8</b>		