

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



GRADO DE BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO
ELABORADO CON ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE
(Musa paradisiaca L.)

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AUTOR : **Bach. Leder Guerrero García**

ASESORES : **M. Cs. Adán Díaz Ruiz**
: **Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos**

JAÉN-PERÚ, NOVIEMBRE 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2019-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 16 de octubre del año 2020, siendo las 16:05 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Polito Michael Huayama Sopla

Secretario: Mg. Frank Fernández Rosillo

Vocal: Mg. Lenin Quiñones Huatangari, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "Grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*)", presentado por el Bachiller Leder Guerrero García, de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 17:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 16 de octubre de 2020

Mg. Polito Michael Huayama Sopla
Presidente Jurado Evaluador

Mg. Frank Fernández Rosillo
Secretario Jurado Evaluador

Mg. Lenin Quiñones Huatangari
Vocal Jurado Evaluador

Índice General

Índice General.....	ii
Índice de Tablas.....	iii
Índice de Figuras	iv
Índice de Anexos	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos	5
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
3.1. Lugar de ejecución.....	6
3.2. Materiales.....	6
3.2.1. Materia prima	6
3.2.2. Insumos.....	6
3.2.3. Materiales de laboratorio	6
3.2.4. Equipos	7
3.2.5. Reactivos	7
3.3. Procedimiento de extracción del almidón.....	7
3.4. Obtención del bioplástico	10
3.5. Pruebas de biodegradabilidad	11
3.6. Pruebas mecánicas	12
3.7. Análisis de datos	14
3.8. Diseño Estadístico.....	14
3.9. Hipótesis	15
IV. RESULTADOS	16
4.1. Extracción del almidón	16
4.2. Obtención del bioplástico.	17
4.3. Pruebas de biodegradabilidad.	19

4.3.1.	Degradación en suelo de relleno sanitario.....	19
4.3.2.	Degradación a orillas de río.....	20
4.3.3.	Degradación en agua estancada.....	22
4.3.4.	Degradación en la intemperie.....	23
4.4.	Pruebas mecánicas.....	26
4.4.1.	Pruebas de elongación.....	26
4.4.2.	Pruebas <i>de flexión</i>	27
V.	DISCUSIÓN.....	29
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
6.1.	Conclusiones.....	31
6.2.	Recomendaciones.....	32
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	33
	ANEXOS.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1.	Formulación para obtención de los bioplásticos.....	10
Tabla 2.	Diseño experimental de la investigación.....	14
Tabla 3.	Rendimiento de extracción de almidón.....	16
Tabla 4.	Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en relleno sanitario.....	19
Tabla 5.	Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en relleno sanitario.....	20
Tabla 6.	Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en orillas de río.....	21
Tabla 7.	Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en orillas de río.....	21
Tabla 8.	Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en agua estancada.....	22
Tabla 9.	Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en agua estancada.....	23
Tabla 10.	Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en la intemperie.....	24
Tabla 11.	Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en la intemperie.....	24
Tabla 12.	Promedio de porcentajes de degradación de los bioplásticos obtenidos. En los cuatro medios.....	25
Tabla 13.	Análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de elongación máxima.....	26
Tabla 14.	Método de Tukey al 95 % de confianza para el porcentaje de elongación.....	27
Tabla 15.	Análisis de varianza (ANVA) para la longitud de flexión.....	28
Tabla 16.	Método de Tukey al 95 % de confianza para la longitud de flexión.....	28

Índice de Figuras

Figura1. Extracción del Almidón	9
Figura 2. Elaboración de bioplástico, pruebas de biodegradabilidad y mecánicas.	13
Figura3. La cloración azul intenso indica presencia de almidón.....	16
Figura4. Imagen del bioplástico de la formulación uno (F-1).....	17
Figura5. Imagen del bioplástico de formulación dos (F-2).	17
Figura6. Imagen del bioplástico de la formulación tres (F-3).	18
Figura7. Imagen del bioplástico de la formulación cuatro (F-4).	18
Figura8. Porcentajes de degradación en relleno sanitario	19
Figura 9. Porcentajes de degradación orillas de río.....	20
Figura10. Porcentajes de degradación en agua estancada.	22
Figura11. Porcentajes de degradación en la intemperie.	23
Figura12. Promedio de Porcentajes de degradación de las cuatro formulaciones en los respectivos medio.	25
Figura13. Porcentajes de elongación	26
Figura14. Longitud de flexión.	27

Índice de Anexos

Anexo 1. Tablas de resultados de las pruebas de degradación	35
Anexo2. Tablas de resultados de las pruebas mecánicas.....	37
Anexo 3. Galería de fotos en la obtención del almidón.....	38
Anexo 4. Galería de fotos en la obtención del bioplástico	41
Anexo 5. Galería de fotos en la determinación de la degradabilidad	43
Anexo 6. Galería de fotos en la determinación de propiedades mecánicas.....	48

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el porcentaje de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) y diferentes concentraciones de plastificantes y aditivos. Se extrajo almidón a partir de la pulpa de plátano verde mediante licuado, sedimentación y continuos lavados con agua helada. Se formularon los bioplásticos empleando glicerina y urea como plastificantes, ácido acético como conservante y cloruro de calcio como aditivo. Para evaluar el porcentaje de biodegradabilidad se sometieron a degradación durante 21 días en los siguientes sistemas medioambientales: suelo de relleno sanitario, orillas de río, agua estancada y la intemperie; al término de cual se midió las diferencias de peso. Así mismo, se caracterizó el porcentaje de elongación y la longitud de flexión de los bioplásticos formulados mediante pruebas mecánicas. Se obtuvo almidón con un rendimiento del 12,5 %. El bioplástico obtenido con 6,25 % de almidón, 81,25 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 8,594 % de glicerina y de 0,781 % cloruro de calcio presentó mayor porcentaje de degradación. Así mismo, el porcentaje de biodegradabilidad de las cuatro formulaciones tuvo las mismas tendencias en los cuatro sistemas medioambientales, siendo estas en promedio: en orillas del río 97,5 %, en suelo de relleno sanitario 92,9 %, en agua estancada 80,3 % y en la intemperie 68,2 %. El bioplástico obtenido con 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio presentó mayor porcentaje de elongación y longitud de flexión, siendo estos 29,9 % y 3,2 cm respectivamente.

Palabra clave: Bioplástico, porcentaje de biodegradabilidad, propiedades mecánicas de bioplástico.

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the percentage of biodegradability of the bioplastic made with green banana starch (*Musa paradisiaca* L.) and different concentrations of plasticizers and additives. To evaluate the percentage of biodegradability, the landfill soil, river banks, stagnant water and outdoor were considered as environmental systems, these being the spaces that end up housing solid waste. Likewise, the elongation percentage and bending length of the formulated bioplastics were characterized. Pure green banana starch was obtained with a yield of 12,5 %. The percentage of biodegradability was measured after 21 days. The bioplastic obtained with 6,25 % of starch, 81,25 % of distilled water, 3,125 % of acetic acid, 8,594 % of glycerin and 0,781 % of calcium chloride presents a higher percentage of degradation. Likewise, the biodegradability of the four formulations have the same trends in the four media respectively, being these: on the banks of the river (97,5 %) and in landfill land (92,9 %) and to a lesser extent in stagnant water (80,3 %) and outdoors (68,2 %). The bioplastic obtained with 6,25% of starch, 78,125 % of distilled water, 3,125 % of acetic acid, 10,938% of urea and 1,562% of calcium chloride present a higher percentage of maximum elongation and maximum bending length.

Keyword: Bioplastic, percentage of biodegradability, mechanical properties of bioplastic.

I. INTRODUCCIÓN

Existen diversas fuentes de donde puede extraerse el almidón; una de ellas es el plátano, que en estado verde se compone en su mayor parte de este carbohidrato. Dentro de la amplia gama de productos que se cultivan en el país, las frutas tropicales son los más interesantes y potenciales recursos disponibles, entre ellos, después del café, el cacao y la caña de azúcar. Los esquemas de comercialización de la fruta y las rigurosas normas de exportación, provocan la existencia de importantes volúmenes de plátano verde que no cumplen los requisitos establecidos, esto ha dado como resultado que una parte de la producción de plátanos quede sin comercializarse, por lo que su aprovechamiento podría fortalecer la economía del agricultor, mediante su uso como materia prima de relativo bajo costo en insumos accesibles y amigables con el medio ambiente. (Méndez, 2010).

La degradación de los plásticos sintéticos es muy lenta, pueden tardar alrededor de 500 años, además la “degradación” de estos plásticos simplemente genera partículas muy pequeñas que se acumulan en los ecosistemas. Al respecto, estudios recientes sobre la presencia de “microplásticos” o fragmentos de plástico de tamaño inferior a 5 milímetros, muchos de ellos de origen desconocido pero que probablemente provienen de la fragmentación de objetos de plástico más grandes, se están acumulando de forma considerable en los mares provocando serios problemas en el hábitat marino.

La contaminación producida por los plásticos de origen sintético está siendo cada vez más crítica, convirtiéndose en un problema ecológico que exige soluciones pertinentes e inmediatas. Ante esta situación se está impulsando la búsqueda de bioplásticos y biopolímeros naturales de alta biodegradabilidad que puedan reemplazarlos, al menos parcialmente, en algunas aplicaciones.

El estudio propone el uso y aprovechamiento de recursos naturales de bajo valor económico por ser excedentes o materiales de deshecho como una excelente opción

e innovación en el desarrollo de nuevos productos biodegradables. El bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) es un producto alternativo para reemplazar el uso del plástico derivado del petróleo, convirtiendo en materia prima al excedente de plátano verde con la consiguiente mejora de las condiciones de vida de los agricultores y comercializadores de esta fruta. Así mismo, se contribuye con el desarrollo sostenible, tanto por el uso racional de los recursos naturales como por la obtención de un producto amigable con el medio ambiente. En el contexto tecnológico se aportará con información relevante sobre las características del bioplástico elaborado.

Charro (2015) en la Universidad Central del Ecuador investigó la obtención de una película de bioplástico a partir de almidón de patata, debido a que éste es un tubérculo abundante y de bajo costo, cuya estructura permite la obtención de este biomaterial. El bioplástico obtenido contiene en su composición desde 2,4% a 6,6%, de glicerina, y de 1,8% a 10,2% en melanina. Las películas de plástico obtenidos tuvieron bajas propiedades mecánicas y de barrera, que bien pueden ser mejoradas con el agregado de diversos plastificantes.

Iguardia (2013), en la Universidad de San Carlos de Guatemala investigó si el almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish) era una materia prima adecuada para la síntesis de bioplástico. En la extracción del almidón obtuvo un 23,03 % de rendimiento, aisló y eliminó la enzima polifenoloxidasas. Realizó la plastificación de la materia prima empleando diversos aditivos compatibles. Obtuvo un polímero que mediante un análisis de las pruebas fisicoquímicas, los ensayos de degradabilidad y los ensayos de calidad internacional se encontró que una de las formulaciones desarrolladas y caracterizadas en esta investigación proporcionó un material poco duro, medianamente maleable y flexible así como altamente degradable.

En Colombia, Medellín, obtuvieron un biopolímero a partir de diferentes mezclas de almidón modificado de yuca con glicerina como plastificante y agua. Evaluaron las condiciones para la obtención del biopolímero biodegradable y determinaron las condiciones para su procesamiento mediante extrusión. Así mismo, evaluaron

algunas características mecánicas y fisicoquímicas mediante ensayos de Tensión, Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA), Análisis Infrarrojo por Transformadas de Fourier (FTIR) y Morfología. (Ruiz, 2005)

En Yautepec Morelos, México, se caracterizó las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de películas de almidón oxidado de plátano obtenidas por extrusión, así como de algunas propiedades funcionales durante el almacenamiento. Las películas de almidón nativo y almidón oxidado con 3% de cloro activo, fueron preparadas por extrusión de mezclas que contenían 65 % (w/w) de almidón, 18 % de agua y 17 % glicerol. Las películas fueron almacenadas en un desecador a 57 % de humedad relativa y a una temperatura de 25 °C durante 45 días. Las películas de almidón oxidado presentaron más blancura, homogeneidad, mejores propiedades mecánicas y mayor solubilidad que las de almidón nativo (García, 2008).

En Lima se elaboró bioplástico a partir del almidón obtenido del endocarpio de la cáscara de la musa balbisiana, empleado material de segregación de los comerciantes del mercado APECOLIC de Comas, con ácido acético, glicerina y agua destilada en 5 concentraciones diferentes. Determinó que para la mezcla de 10 ml de ácido acético, 5 ml de glicerina para 10 g de almidón en 50 ml de agua destilada, el biopolímero obtenido presentó una resistencia a la tracción de 33,23 N/m², resistencia a la elongación de 38,62 N/m² y una degradación de 91,91%. (Vicente, 2018)

En la ciudad de Piura se realizó un análisis experimental de la producción de bioplástico a partir del almidón de la cáscara de plátano verde y el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de la región Piura. En dicho estudio obtuvieron un prototipo de plato de resistente y biodegradable mediante la mezcla de almidón de plátano verde (10 g), agua destilada (60 mL), glicerina (5 mL), vinagre (5 mL) y goma de arroz (5 g) como su mejor formulación (Piza et al, 2017).

En la Universidad Agraria La Molina elaboraron un bioplástico a nivel de laboratorio empleando almidón de papa variedad Yungay, la composición del

bioplástico más resistente fue elaborado con 5 ml de glicerina, 3 ml de ácido acético, 10 g de almidón, 60 ml de agua destilada y a una temperatura 150 °C. El comportamiento mecánico del bioplástico se vio más afectado por la variación de ácido acético que por la variación de glicerol. Dicho material alcanza un esfuerzo máximo de 1,47 MPa y una elongación máxima de 19,99% en el ensayo de tracción; además, el ensayo de espectrofotometría mostró la formación de enlaces característicos de los bioplásticos. La biodegradabilidad aeróbica tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012 del bioplástico elaborado presenta un alto nivel de biodegradación alcanzando un valor de 64,21% en 92 días. (Meza, 2016).

El objetivo de la investigación fue determinar el grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) y diferentes concentraciones de plastificantes y aditivos

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Determinar el grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) y diferentes concentraciones de plastificantes y aditivos

2.2. Objetivos Específicos

- a) Extraer el almidón de la pulpa de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.)
- b) Obtener bioplástico a partir de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) y diferentes concentraciones de plastificantes y aditivos
- c) Evaluar el porcentaje de biodegradabilidad de los bioplásticos obtenidos.
- d) Determinar las propiedades mecánicas de los bioplástico elaborados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El proyecto se ejecutó en el laboratorio Taller de Tecnología de Alimentos de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

Constituida por plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) que fueron descartados para su comercialización por no cumplir los estándares exigidos.

3.2.2. Insumos

- ✓ Urea
- ✓ Glicerina
- ✓ Ácido acético
- ✓ Cloruro de calcio

3.2.3. Materiales de laboratorio

- ✓ Vaso de precipitados 200 mL, 1000 mL
- ✓ Probeta de 500 mL, 1000 mL
- ✓ Varilla de vidrio
- ✓ Tazones de acero inoxidable
- ✓ Mortero de porcelana
- ✓ Cucharas
- ✓ Termómetro
- ✓ Placas Petri
- ✓ Cuchillo.
- ✓ Prensa.

- ✓ Alicates
- ✓ Alambre galvanizado
- ✓ Táper con tapa de 500 mL
- ✓ Balanza digital

3.2.4. Equipos

- ✓ Estufa. Enxin Instrument. Modelo ODHG-9053A
- ✓ Balanza analítica. SHS Inside Super Hybrid Sensor AND. HR-250AZ
- ✓ Cocina eléctrica. MS Makrosonic
- ✓ Agitador Magnético. Velp Scientifica
- ✓ Licuadora
- ✓ Refrigeradora
- ✓ Analizador de humedad

3.2.5. Reactivos

- ✓ Agua destilada
- ✓ fosfato dibásico de Sodio dihidratado
- ✓ fosfato monobásico de Sodio anhidro
- ✓ Reactivo de Lugol
- ✓ Ácido ascórbico 4 %.

3.3. Procedimiento de extracción del almidón

Se empleó el método desarrollado por Iguardia (2013) modificado por los investigadores.

Recepción y pesado

Pelado y trozado

- ✓ Con una cuchilla se realizó tres cortes longitudinales al plátano verde y se separó la cáscara de la pulpa
- ✓ Se cortó la pulpa del plátano en trozos pequeños de 2-3 cm de largo y se pesó.
- ✓ Se colocó las muestras en un vaso de precipitado de 1000 mL, con una solución antioxidante de ácido ascórbico al 4 %.

Licuada.

- ✓ Se licuó los trozos de plátano con la misma solución antioxidante.
- ✓ Se colocó la muestra licuada en vasos de precipitado hasta la mitad de su volumen y a la otra mitad se añadió agua destilada.
- ✓ Se agitó durante 5 minutos para mezclar empleando un agitador magnético.

Decantado 1.

- ✓ Se dejó reposar las muestras en refrigeración a 4 °C por 1 hora y luego se decantó el sobrenadante.
- ✓ Se añadió agua helada, se agitó 5 min y se dejó en reposo a 4 °C por 1 hora y se decantó el líquido sobrenadante.
- ✓ Se realizó este procedimiento hasta que la solución resultante se clarifique.

Filtrado y decantado 2

- ✓ Se filtró empleando tela organza para separar las partículas grandes.
- ✓ A la porción filtrada se añadió solución buffer pH 7 hasta llenar el vaso y se refrigeró por 24 horas, 4 °C.
- ✓ Luego se decantó el sobrenadante y se añadió agua destilada, posteriormente se agitó en un agitador magnético durante 10 minutos.
- ✓ Se colocaron las muestras en refrigeración por 1 hora para luego decantar el sobrenadante.
- ✓ Se realizó este procedimiento hasta que la solución resultante se clarifique y el precipitado se torne de color blanco.

Secado

- ✓ El precipitado final resultante se puso en un horno de secado a 60 °C -70 °C hasta que se obtenga una pasta sólida.

Molido y secado final

- ✓ Se sacó la pasta sólida del horno y se trituró en un mortero en polvos finos.
- ✓ Se colocó los polvos en horno de secado a 105 °C hasta que su humedad sea inferior al 4%.

Prueba de identificación del almidón.

- ✓ Se mezcló 1 g de almidón obtenido con 50 mL de agua destilada, se puso a hervir por 1 minuto y luego se enfrió.
- ✓ Se colocó 1 ml de la muestra preparada en un vidrio de reloj y se añadieron tres gotas de reactivo de Lugol.
- ✓ La coloración azul oscuro confirmó la presencia de almidón.

Envasado

- ✓ El almidón obtenido se colocó en bolsas con cerradura hermética y se almacenaron a temperatura ambiente.

Diagrama de Flujo.

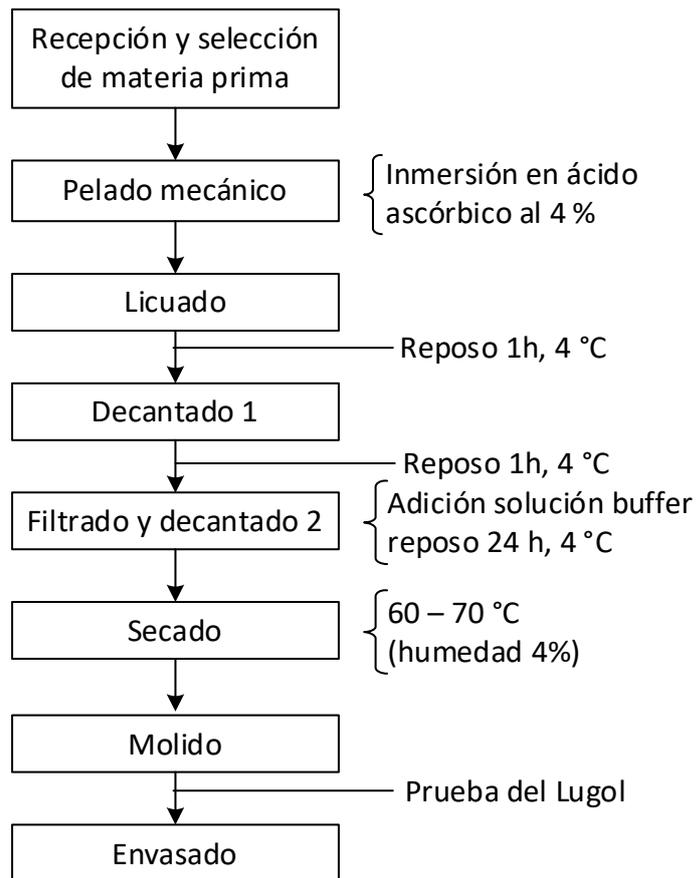


Figura1. Extracción del Almidón

3.4. Obtención del bioplástico

Se obtuvieron cuatro tipos de bioplástico con las concentraciones de almidón y aditivos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1.

Formulación para obtención de los bioplásticos.

Formulación Bioplástico	Almidón (g)	Agua (g)	Ácido acético (g)	Glicerina (ml)	Urea (g)	Cloruro de calcio (g)
F-1	20	260	10	30	-----	-----
	6.25%	81.25%	3.125%	9.375 %	-----	-----
F-2	20	250	10	-----	40	-----
	6.25%	78.125%	3.125%	-----	12.5%	-----
F-3	20	260	10	27.5	-----	2.5
	6.25%	81.25%	3.125%	8.594%	-----	0.781%
F-4	20	250	10	-----	35	5
	6.25%	78.125%	3.125%	-----	10.938%	1.562%

Procedimientos:

Bioplástico 1: En un vaso de precipitados de 400 mL se mezcló el almidón con el agua utilizando un agitador magnético y luego se añadió la glicerina. Se calienta entre 70-80 °C, se añade el ácido acético y se continúa en agitación aproximadamente 30 min, hasta que se forme una pasta. Luego se colocó en placas Petri. Se dejó a secar al aire libre durante 5 días, luego de desmoldó.

Bioplástico 2: En un vaso de precipitados de 400 mL se mezcló el almidón con el agua utilizando un agitador magnético, en otro recipiente se disolvió la urea con un poco de agua y se le añadió al almidón. Se calentó a 70-80 °C, se añadió el ácido acético y se continúa en agitación aproximadamente 30 min, hasta que se forme una pasta. Luego se colocó en placas Petri. Se dejó a secar al aire libre durante 5 días, luego de desmoldó.

Bioplástico 3: En un vaso de precipitados de 400 mL se mezcló el almidón con el agua utilizando un agitador magnético y luego se añadió la glicerina. Se calienta entre 70-80 °C, se añadió el cloruro de calcio disuelto en agua, luego se agregó el ácido acético y se continúa en agitación aproximadamente 30 min, hasta que se forme una pasta. Luego se colocó en placas Petri. Se dejó a secar al aire libre durante 5 días, luego de desmoldó.

Bioplástico 4: En un vaso de precipitados de 400 mL se mezcló el almidón con el agua utilizando un agitador magnético, en otro recipiente se disolvió la urea y el cloruro de calcio con un poco de agua y se le añadió al almidón. Se calentó a 70-80 °C, se añadió el ácido acético y se continúa en agitación aproximadamente 30 min, hasta que se forme una pasta. Luego se colocó en placas Petri. Se dejó a secar al aire libre durante 5 días, luego de desmoldó.

3.5. Pruebas de biodegradabilidad

Para realizar las pruebas de biodegradabilidad se eligieron los siguientes sistemas medio ambientales: suelo de relleno sanitario, orillas de río, agua estancada y la intemperie, considerando que son lugares donde mayormente se acumularan y por su fácil acondicionamiento.

La biodegradabilidad se determinó empleando el método gravimétrico, es decir por variación de masa de las muestras de bioplástico.

Se cortaron tiras de bioplástico de cada formulación de dimensiones de 3x5 cm. Se pusieron en la estufa de secado a 40 °C por dos horas y luego se pesaron en una balanza analítica. Se rotularon convenientemente para proceder con las respectivas pruebas de degradabilidad.

El porcentaje de degradación se calculó empleando la ecuación (1)

$$\text{Porcentaje de degradación} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (1)$$

a) Degradabilidad en suelo de relleno sanitario:

Se prepararon las muestras convenientemente en recipientes de plástico con agujeros y codificados para su fácil identificación.

Se enterraron las muestras a profundidades de 5 cm en el suelo preparado adecuadamente

Al cabo de 21 días se sacaron las muestras, se limpiaron, lavaron y se pusieron en la estufa de secado a 40 °C durante 2 horas, luego se pesaron.

b) Degradabilidad en orillas de río:

Se acondicionó la muestra apropiadamente en recipiente con agujeros y debidamente codificados.

Se eligió lugares adecuados del cauce del río, se enterraron los recipientes a una profundidad de 10 cm. Se aseguraron adecuadamente para no ser arrastrados en caso de haber crecidas del río.

Se sacaron las muestras al cabo de 21 días, se limpiaron, lavaron y se pusieron a secar la estufa a 40 °C durante 2 horas, luego se pesaron.

c) Degradabilidad en la intemperie:

Se acondicionó la muestra apropiadamente en recipiente con agujeros para evitar acumulación de agua de lluvia.

Se colocaron las muestras en la azotea de una vivienda debidamente codificados y se dejaron al aire libre.

Se recogieron las muestras al cabo de 21 días, se limpiaron, lavaron y se pusieron en la estufa de secado a 40 °C durante 2 horas, luego se pesaron.

d) Degradabilidad por agua estancada

Se colocaron las muestras en un recipiente limpio y debidamente codificado, se llenaron con agua de caño. Las muestras permanecieron sumergidas en reposo absoluto con el recipiente tapado.

Se sacaron las muestras al cabo de 21 días, se lavaron y secaron en estufa a 40 °C durante 2 horas, luego se pesaron.

3.6. Pruebas mecánicas

Se empleará un método sencillo propuesto por los investigadores.

Se cortaron tiras de 1 cm x 10 cm y se procedieron a determinar los porcentajes de elongación y longitud de flexión.

a) **Elongación:** Se colocó la muestra en un dispositivo mostrado en el anexo 6, luego se procedió a jalar del extremo libre lentamente hasta que se produzca la ruptura. Se anotó la longitud alcanzada justo en el instante de ruptura. Se calculó el porcentaje de elongación con la ecuación (2)

$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{(\text{long. final} - \text{long. inicial})}{\text{long. inicial}} \times 100 \quad (2)$$

b) **Flexión:** Colocaron las muestras en dos soportes separados entre sí tal como se muestra en el anexo 6. Se colocó un extremo de la balanza mediante un gancho en el centro de las tiras de bioplástico y se procedió a jalar hasta el instante de ruptura, se anotó la distancia desplazada.

Diagrama de flujo

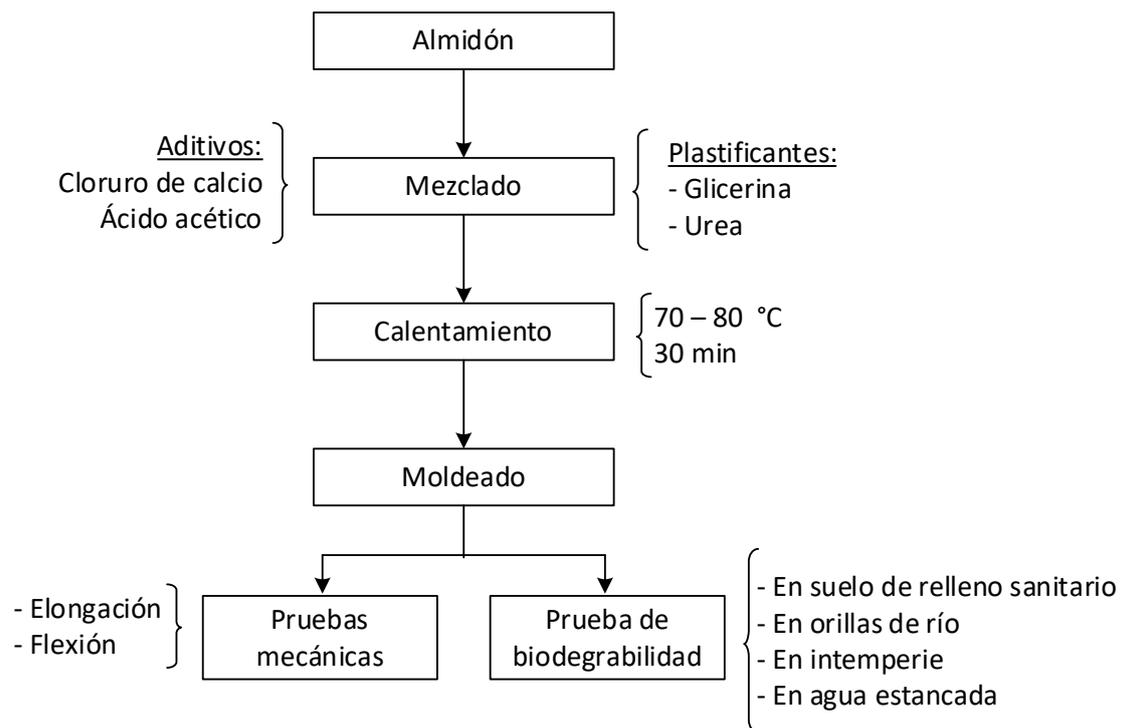


Figura 2. Elaboración de bioplástico, pruebas de biodegradabilidad y mecánicas.

3.7. Análisis de datos

Para el análisis de datos se aplicará en análisis de varianzas ANVA y la prueba de comparación de medias Tukey empleando el software SPSS versión 25.

3.8. Diseño Estadístico

La metodología experimental corresponde a un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro formulaciones y cinco repeticiones con un total de 120 ensayos.

Tabla 2.

Diseño experimental de la investigación

Formulaciones	Formulación F-1	Formulación F-2	Formulación F-3	Formulación F-4
Degradación en suelo de relleno sanitario	R1			
	R2			
	R3			
	R4			
	R5			
Degradación En orilla de río	R1			
	R2			
	R3			
	R4			
	R5			
Degradación en agua estancada	R1			
	R2			
	R3			
	R4			
	R5			
Degradación en la Intemperie	R1			
	R2			
	R3			
	R4			
	R5			
Porcentaje de elongación	R1			
	R2			
	R3			
	R4			
	R5			
Longitud de flexión	R1			
	R2			
	R3			
	R4			
	R5			

R = Repeticiones

3.9. Hipótesis

El bioplástico elaborado con almidón del plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) presenta un alto porcentaje de biodegradabilidad.

Variable independiente:

bioplástico de almidón de plátano verde

Variable dependiente:

Porcentaje de Biodegradabilidad

IV. RESULTADOS

4.1. Extracción del almidón

Se trató 3824,27 g de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) en seis porciones tal como se muestra en la Tabla 3. Se obtuvo 281,61 g de almidón puro que representa un rendimiento del 12,25 %.

Tabla 3.

Rendimiento de extracción de almidón

N° muestra	Peso plátano (g)	Peso Cáscara (g)	peso pulpa (g)	peso almidón (g)	Porcentaje (%)
1	596.32	241.06	355.26	43.67	12.29
2	627.70	249.77	377.93	45.54	12.05
3	774.62	295.86	478.76	50.34	10.51
4	581.74	235.50	346.24	48.23	13.93
5	620.49	243.05	377.44	46.94	12.44
6	623.40	242.15	381.25	46.89	12.30
Total	3824.27	1507.39	2316.88	281.61	12.25

Prueba de Lugol:

En la figura 3 se observa la coloración azul intenso en las muestras indicando presencia de almidón.

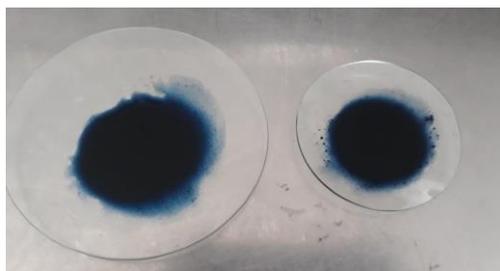


Figura3. La cloración azul intenso indica presencia de almidón

4.2. Obtención del bioplástico.

Se obtuvieron cuatro diferentes formulaciones que presentaron las siguientes características:

Formulación 1 (F-1). Formulada con 6,25 % de almidón, 81,25 % de agua destilada, 2,125 % de ácido acético y 9,375 % de glicerina. Se obtuvo un bioplástico transparente, fácil de desmoldar, ligeramente elástico.

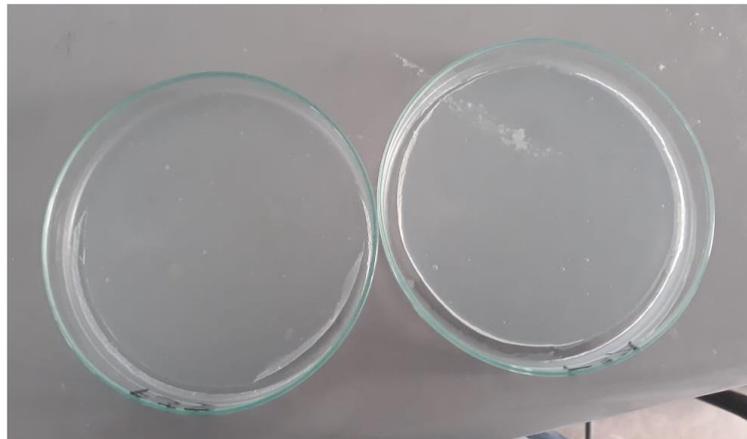


Figura 4. Imagen del bioplástico de la formulación uno (F-1).

Formulación 2 (F-2). Formulada con 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 12,5 % de urea. Se obtuvo un material de color blanco lechoso, es pegajoso y tiende rápido a romperse.

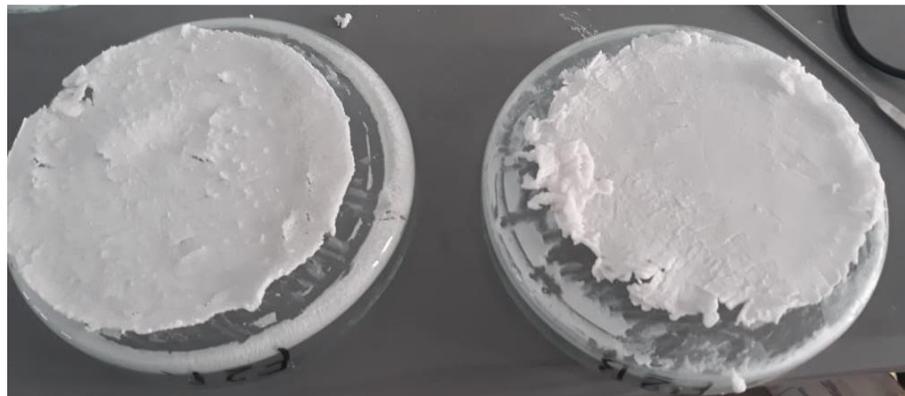


Figura 5. Imagen del bioplástico de formulación dos (F-2).

Formulación 3 (F-3). Formulada con 6,25 % de almidón, 81,25 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 8,594 % de glicerina y de 0,781 % cloruro de calcio. Se obtuvo un material transparente de aspecto muy similar al obtenido en la F-1, a diferencia que es más elástico.

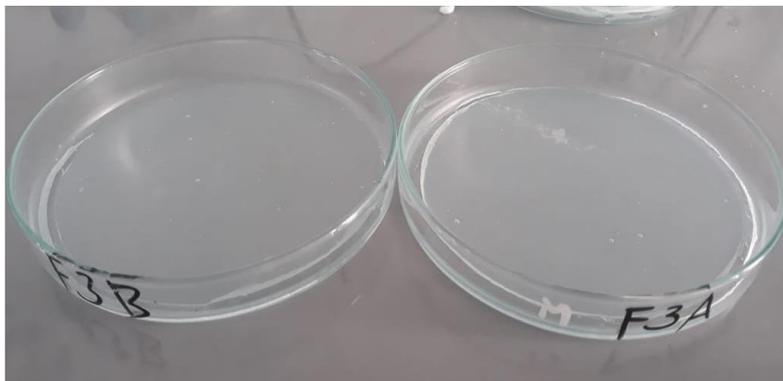


Figura 6. Imagen del bioplástico de la formulación tres (F-3).

Formulación 4 (F-4). Formulada con 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio. Se obtuvo un material ligeramente lechoso, pegajoso y mas elástico que los anteriores.



Figura 7. Imagen del bioplástico de la formulación cuatro (F-4).

4.3. Pruebas de biodegradabilidad.

Los resultados obtenidos en las pruebas de degradabilidad de las muestras de bioplástico de las cuatro formulaciones en suelo de relleno sanitario, a orillas de río, agua estancada y la intemperie se presentan a continuación.

4.3.1. Degradación en suelo de relleno sanitario

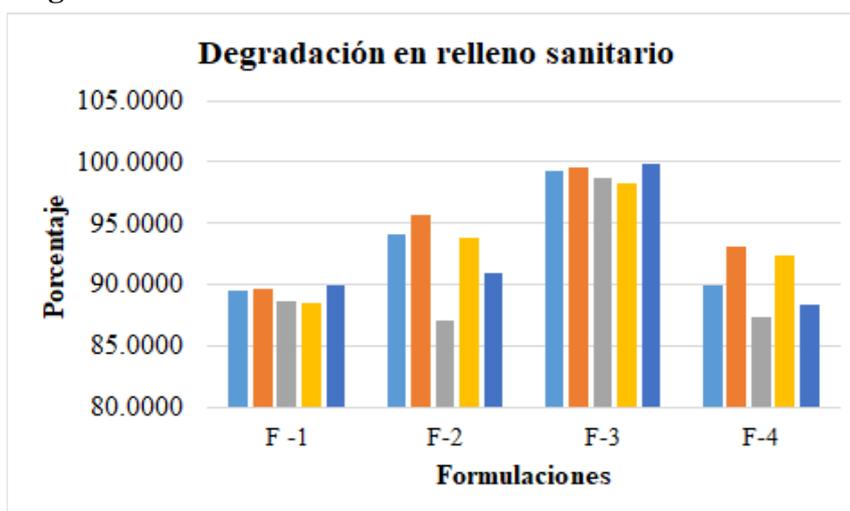


Figura 8. Porcentajes de degradación en relleno sanitario

Se observa que la formulación F-3 constituida por 6,25 % de almidón, 81,25 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 8,594 % de glicerina y de 0,781 % cloruro de calcio presenta mayor porcentaje de degradación.

Tabla 4.

Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en relleno sanitario

FV	SC	GL	CM	F obs.	F tabular	
					S	0.05 0.01
Repeticiones	36.20	4	9.05			
Tratamientos	294.22	3	98.07	31.19	**	3.49 5.95
Error	37.73	12	3.14			
Total		19				

Coefficiente de Variabilidad = 1.91

El análisis de varianza ANVA indica que existen estadísticamente diferencias significativas entre cada tratamiento, es decir, cada formulación se comporta de manera independiente. Este significa que la degradación en suelo de relleno sanitario depende de la composición de cada bioplástico.

Tabla 5.

Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en relleno sanitario.

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
T(4)	F-3	99.103394	A
T(3)	F-2	92.330987	B
T(2)	F-4	90.220344	B
T(1)	F-1	89.299748	B

El análisis Tukey nos muestra dos grupos diferenciados A y B, en la cual la formulación F-3 presente mejor promedio de degradabilidad y los otros se comportan de manera similar.

4.3.2. Degradación a orillas de río

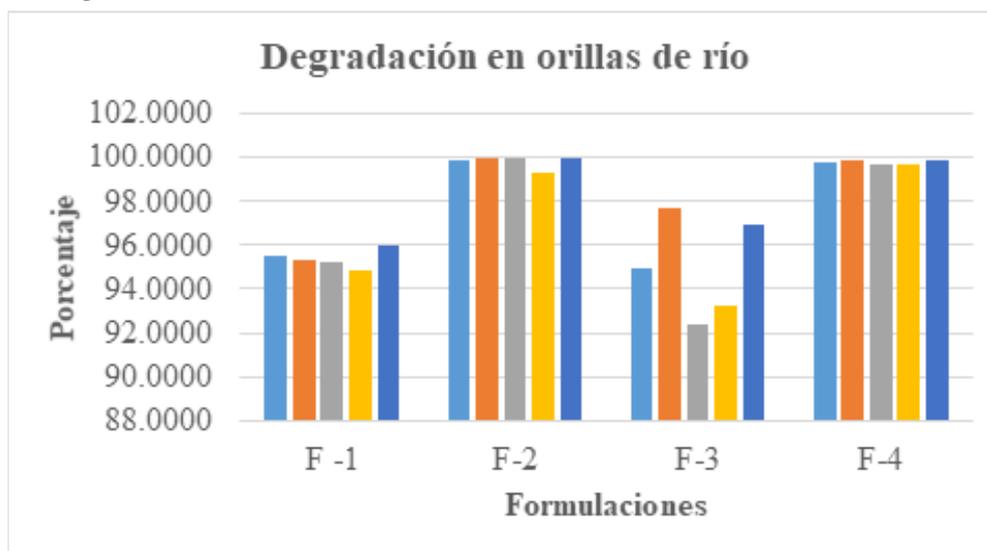


Figura 9. Porcentajes de degradación orillas de río.

Se observa que la formulación F-4 constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 12,5 % de urea y la formulación F-2

constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio presentan mayor porcentaje de degradación.

Tabla 6.

Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en orillas de río.

FV	SC	GL	CM	F obs.	F tabular	
					S	0.05 0.01
Repeticiones	8.07	4	2.02			
Tratamientos	105.13	3	35.04	29.79	**	3.49 5.95
Error	14.11	12	1.18			
Total		19				

Coefficiente de Variabilidad = 1.11

El análisis de varianza ANVA indica que existen diferencias significativas entre cada tratamiento, es decir, cada formulación se comporta de manera independiente. Esto significa la degradación en las orillas de río depende de la composición de cada bioplástico.

Tabla 7.

Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en orillas de río.

Tratamientos	Orden de Mérito	Significancia (0.05)
T(4)	F-2	99.812134 A
T(3)	F-4	99.768079 A
T(2)	F-1	95.377726 B
T(1)	F-3	95.044175 B

El análisis Tukey nos muestra dos grupos diferenciados A y B, en la cual las formulaciones F-2 y F-4 presentan mejor promedio de degradabilidad y se comportan de manera similar. Lo mismo ocurre con las otras dos formulaciones.

4.3.3. Degradación en agua estancada

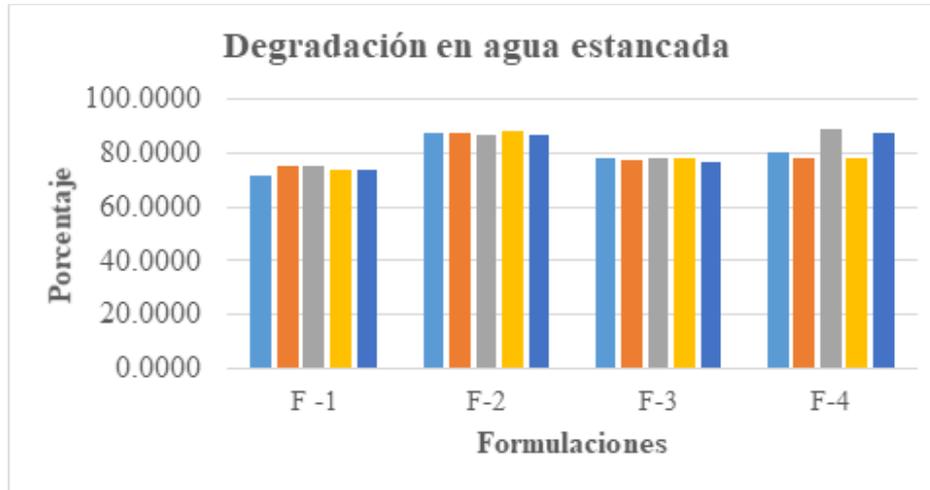


Figura 10. Porcentajes de degradación en agua estancada.

Se observa que la formulación F-2 constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio presentan mayor porcentaje de degradación.

Tabla 8.

Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en agua estancada.

FV	SC	GL	CM	F obs.	F tabular	
					S	0.05 0.01
Repeticiones	24.75	4	6.19			
Tratamientos	516.81	3	172.27	23.02	**	3.49 5.95
Error	89.80	12	7.48			
Total		19				

Coefficiente de Variabilidad = 3.41

El análisis de varianza ANVA indica que existen diferencias significativas entre cada tratamiento, es decir, cada formulación se comporta de manera independiente. Esto significa la degradación en agua estancada depende de la composición de cada bioplástico.

Tabla 9.

Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en agua estancada.

	Tratamientos	Orden de Mérito	Significancia (0.05)
T(4)	F-2	87.355941	A
T(3)	F-4	82.485348	B
T(2)	F-3	77.587392	C
T(1)	F-1	73.862386	D

El análisis Tukey nos muestra cuatro grupos diferenciados A, B, C, D en la cual las formulaciones F-1, F-2, F-3, F-4 presentan diferentes promedios de degradabilidad y se comportan de manera distinta.

4.3.4. Degradación en la intemperie

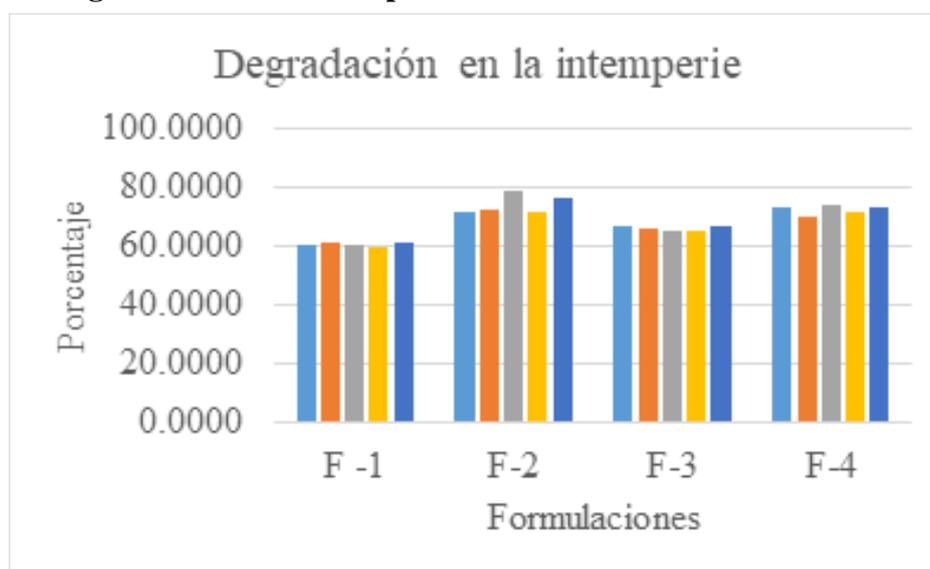


Figura11. Porcentajes de degradación en la intemperie.

Se observa que la formulación F-4 constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio y la formulación F-2 está constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 12,5 % de urea, presentan mayor porcentaje de degradación.

Tabla 10.*Análisis de varianza (ANVA) para la degradación en la intemperie*

FV	SC	GL	CM	F obs.	F tabular	
					S	0.05 0.01
Repeticiones	24.16	4	6.04			
Tratamientos	592.40	3	197.47	69.25	**	3.49 5.95
Error	34.22	12	2.85			
Total		19				

Coeficiente de Variabilidad = 2.48

El análisis de varianza ANVA indica que existen diferencias significativas entre cada tratamiento, es decir, cada formulación se comporta de manera independiente. Esto significa que la degradación en la intemperie depende de la composición de cada bioplástico.

Tabla 11.*Método de Tukey al 95 % de confianza para la degradación en la intemperie*

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)	
T(4)	F-2	74.220402	A	
T(3)	F-4	72.269829	A	B
T(2)	F-3	65.998576	B	
T(1)	F-1	60.400821	C	

El análisis Tukey nos muestra tres grupos diferenciados A, B, C en la cual las formulaciones F-4, presenta similar promedio de degradabilidad que la formulación F-2 y F-3, la formulación F-1 tiene diferentes promedios de degradabilidad y se comportan de manera distinta a las otras formulaciones. La formulación F-2 tiene el mejor promedio de degradabilidad.

Para obtener el grado de degradabilidad de las cuatro formulaciones en los respectivos sistemas se obtuvo los promedios que se muestran en la tabla 12.

Tabla 12.

Promedio de porcentajes de degradación de los bioplásticos obtenidos. En los cuatro medios.

Formulaciones	Suelo de Relleno	Orillas de Río	Agua estancada	Intemperie
F-1	89.2997	95.3777	73.8624	60.4008
F-2	92.3310	99.8121	87.3559	74.2204
F-3	99.1034	95.0442	77.5874	65.9986
F-4	90.8154	99.7681	82.4853	72.2698
Promedio	92.8874	97.5005	80.3228	68.2224

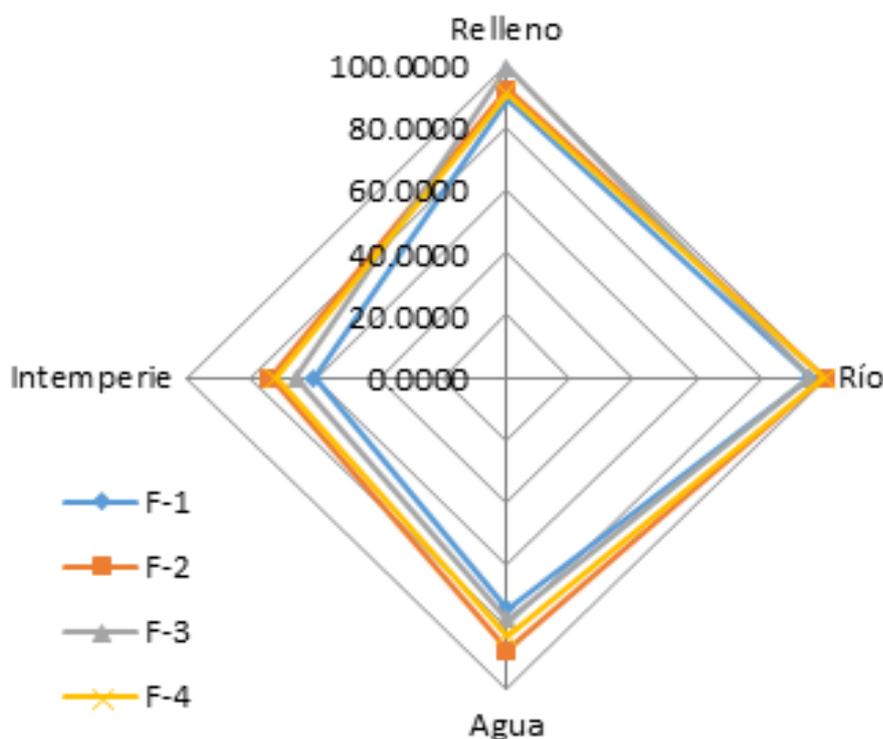


Figura 12. Promedio de Porcentajes de degradación de las cuatro formulaciones en los respectivos medio.

En la figura 12 se observa que en promedio las cuatro formulaciones tienen casi las mismas tendencias de degradación en cada uno de los sistemas. Se degradan más

rápidamente en orillas del río (97,5 %) y en suelo de relleno sanitario (92,9 %) y en menos grado en agua estancada (80,3 %) y la intemperie (68,2 %).

4.4. Pruebas mecánicas

4.4.1. Pruebas de elongación

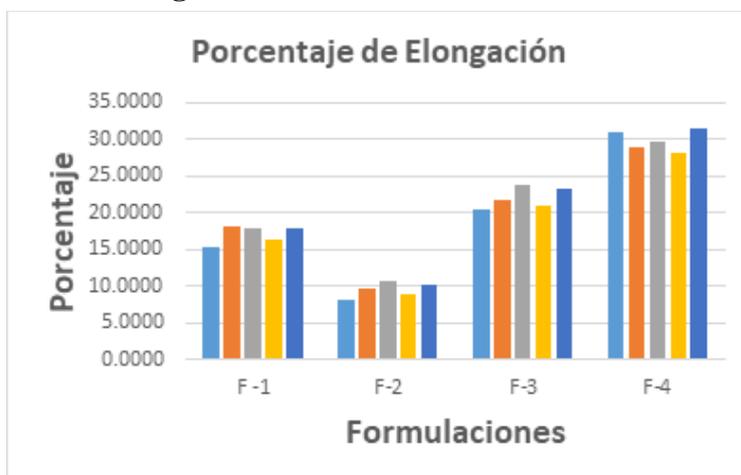


Figura13. Porcentajes de elongación.

Se observa que la formulación F-4 que está constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio, presentan mayor porcentaje de elongación que las otras formulaciones.

Tabla 13.

Análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de elongación.

FV	SC	GL	CM	F obs.	F tabular	
					S	0.05 0.01
Repeticiones	16.32	4	4.08			
Tratamientos	1103.46	3	367.82	417.95 **	3.49	5.95
Error	10.56	12	0.88			
Total		19				

Coefficiente de Variabilidad = 4.87

El análisis de varianza ANVA indica que existen diferencias significativas entre cada tratamiento, es decir, cada formulación se comporta de manera independiente. Esto significa que la elongación depende de la composición de cada bioplástico.

Tabla 14.

Método de Tukey al 95 % de confianza para el porcentaje de elongación.

Tratamientos	Orden de Mérito	Significancia (0.05)
T(4)	F-4	29.864646
T(3)	F-3	22.128452
T(2)	F-1	17.105243
T(1)	F-2	9.465012

El análisis Tukey nos muestra cuatro grupos diferenciados A, B, C, D. Siendo la Formulación F-4 tiene el mejor promedio de porcentaje de elongación y el menor lo tiene la formulación F-2.

4.4.2. Pruebas de flexión

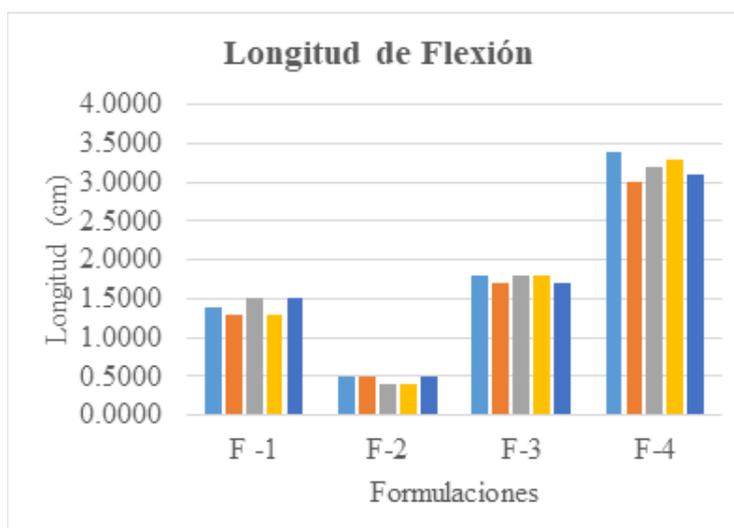


Figura14. Longitud de flexión.

Se observa que la formulación F-4 está constituida por 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio, presentan mayor longitud de flexión.

Tabla 15.*Análisis de varianza (ANVA) para la longitud de flexión.*

FV	SC	GL	CM	Fobs.	F tabular	
					S	0.05 0.01
Repeticiones	0.05	4	0.01			
Tratamientos	19.41	3	6.47	663.44 **	3.49	5.95
Error	0.12	12	0.01			
Total		19				

Coeficiente de Variabilidad = 5.79

El análisis de varianza ANVA indica que existen diferencias significativas entre cada formulación, es decir, cada tratamiento se comporta de manera independiente. Esto significa que la longitud de flexión depende de la composición de cada bioplástico.

Tabla 16.*Método de Tukey al 95 % de confianza para la longitud de flexión.*

Tratamientos	Orden de Mérito	Significancia (0.05)
T(4) F-4	3.2	A
T(3) F-3	1.76	B
T(2) F-1	1.4	B
T(1) F-2	0.46	C

El análisis Tukey nos muestra tres grupos diferenciados A, B y C, en la cual la formulación F-4 presenta mejor promedio de longitud de flexión y la formulación F-2 presenta la menor longitud de flexión y se comportan de manera única. Por otra parte, las formulaciones F-3 y F-1 presentan similar comportamiento a pesar de haber diferencias significativas.

V. DISCUSIÓN

El rendimiento obtenido en la extracción de almidón puro de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) fue de 12,5 %. Este resultado es distante con lo reportado por Iguardia (2013), quién obtuvo almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish) con un rendimiento de 23,03 %.

Se formularon cuatro tipos de bioplásticos, se empleó como plastificantes la glicerina y urea que corresponden a las formulaciones F-1 y F-2 respectivamente, observándose que la F-1 presenta mejores cualidades plásticas que formulación F-2 (ver figuras 4 y 5). Así mismo, se empleó cloruro de calcio como aditivo que corresponden a las formulaciones F-3 y F-4, observándose que comparado con las formulaciones que no contenían este aditivo presentan mejores cualidades plásticas (ver figuras 6 y 7).

Respecto a la biodegradabilidad de las cuatro formulaciones estas oscilan entre 60,40 % de degradación en la intemperie para la formulación F-1 y 99,81 % de degradación para la formulación F-2 en orillas de río (Tabla 12). Que según la Norma ISO 17556:2012, los bioplásticos elaborados tienen un alto porcentaje de biodegradabilidad alcanzado en 21 días. Resultados que superan a los reportados por Meza (2016) que indica un valor de 64,21 % en 92 días.

Respecto a las pruebas mecánicas, el porcentaje de elongación oscilan entre 9,4% para la F-2 y 29,8 % para la formulación F-4. Estos resultados son confrontables con los reportados por Meza (2016), quien obtuvo una elongación de 19,99% para el bioplástico obtenido con 5 ml de glicerina (6,4 %), 3 ml de ácido acético (3,8 %), 10 g de almidón (12, 8%), 60 ml de agua destilada (76,9 %); formulación de composición similar a la formulación F-1 elaborado con 6.25 % de almidón, 81,25 % de agua destilada, 2,125 % de ácido acético y 9,3 % de glicerina cuyo porcentaje de elongación es de 17,1 %.

En la investigación se observa que el porcentaje de elongación es incrementada con la adición de cloruro de calcio alcanzando 29,9 % para la formulación F-4. En la figura 13 se observa que las formulaciones F-3 y F-4 tienen mayor porcentaje de elongación, estos bioplásticos contienen cloruro de calcio en su formulación

Respecto a la longitud de flexión, la formulación F-4 elaborado con 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético y 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio es el bioplástico que presenta el mayor valor longitud de flexión. Así mismo, se observa la formulación F-4 y F-3 que presentan las mayores longitudes de flexión contiene en su composición cloruro de calcio.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se obtuvo bioplástico empleando almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*) y como plastificantes glicerina y urea; ácido acético como conservante y cloruro de calcio como aditivo que mejora la elasticidad y flexibilidad. La glicerina es mejor plastificante que la urea.

Las cuatro formulaciones de bioplástico tienen las mismas tendencias de degradación en cada uno de los medios. Reportándose en promedio 97,5 % en orillas del río, 92,9 % en suelo de relleno sanitario, 80,3 % en agua estancada y 68,2 % en la intemperie. Según Norma ISO 17556:2012, los bioplásticos elaborados tienen un alto porcentaje de biodegradabilidad.

Las propiedades mecánicas determinadas fueron el porcentaje de elongación y la longitud de flexión. La formulación F-4 que corresponde al bioplástico obtenido con 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125 % de ácido acético, 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio presentan mayor porcentaje de elongación (29,9 %) y longitud de flexión (3,2 cm). La adición de cloruro de calcio mejora las características de elongación y flexión de los bioplásticos obtenidos.

6.2. Recomendaciones

A las empresas agrícolas o industriales que producen, comercializan o procesan productos agrícolas y que generan residuos en sus procesos promover investigaciones que permitan convertir estos residuos en materia prima que puedan ser utilizados dentro de sus propios procesos o en otros.

A la Universidad Nacional de Jaén, a través de las autoridades gestionar la implementación de al menos un laboratorio con los equipos necesarios para realizar pruebas de determinación de propiedades mecánicas de materiales tales como, resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, índice de elasticidad, longitud de flexión, etc. Puesto que se tuvo serias dificultades para realizar dichas pruebas al no contar con estos equipos.

A los investigadores realizar estudios sobre el uso de los bioplásticos obtenidos a partir de almidón de plátano, glicerina, urea, ácido acético empleando cloruro de calcio que mejora la plasticidad y elasticidad, como por ejemplo en la obtención de biopelículas comestibles para recubrimientos de alimentos y envases para germinar semillas, mediante adición de otros aditivos que puedan mejorar sus propiedades, utilizando las formulaciones de los bioplásticos y resultados obtenidos en la presente investigación.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Charro M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. [Tesis]. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito.
- García, Y. (2008). *Elaboración de películas de almidón oxidado de plátano (musa paradisiaca l.) por extracción y su caracterización parcial*. [Tesis]. Yauatepec Morelos: Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos.
- Iguardia, C. (2013). *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa sapientum variedad cavendish)*. [tesis]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Méndez, A. (2010). *Extracción de almidón del banano verde (Musa Sapientum variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Meza P. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Pizá H., Rolando S., Ramirez C., Villanueva S., Zapata A. (2017). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú*. Piura: Universidad de Piura.
- Ruiz, G. (2005). *Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca*. Medellín: Universidad EAFIT ICIPC.
- Vicente, R. (2018). *Aprovechamiento de la cáscara residual de la Musa balbisiana para la obtención de bioplástico en el Mercado APECOLIC - Comas – 2018*. Lima: Universidad César Vallejo. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por las oportunidades que a diario pone en mi camino, llenarme de bendiciones cada día y por darme una formidable familia.

Con amor y cariño a mi amada madre Eufemia García Gavidia, a mi querido padre José Farro Rojas y mis hermanos Samuel, Yeiser, Oscar y Elver.

A mi compañera Yanet Rodríguez por su sacrificio y esfuerzo, por creer en mí y en mi proyecto.

A mis tíos César y Santiago llevo siempre en mi corazón.

A mis abuelitos y demás familiares. Gracias infinitas.

AGRADECIMIENTO

A nuestro Padre Celestial por permitirme cumplir con mis objetivos.

A mis padres, hermanos y amigos por su constante aliento y apoyo para culminar exitosamente esta etapa de formación profesional.

A mi asesor de tesis, M. Cs. Adán Díaz Ruiz por su paciencia, enseñanzas y creer en este proyecto que sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación exitosa.

A mi Alma Mater Universidad Nacional de Jaén, por darme la oportunidad de forjarme en sus aulas para ser un profesional competente y con valores.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas de resultados de las pruebas de degradación

Porcentajes de la variación de peso en de las cuatro formulaciones de bioplástico degradados en suelo de rellenos sanitario.

Repeticiones	F -1	F-2	F-3	F-4
R-1	89.5013	94.0897	99.2217	89.9647
R-2	89.7210	95.7138	99.6000	93.0702
R-3	88.7292	87.0935	98.6672	87.3756
R-4	88.5598	93.8254	98.2256	92.3698
R-5	89.9874	90.9325	99.8025	88.3214
Promedio	89.2997	92.3310	99.1034	90.2203

Porcentajes de la variación de peso en de las cuatro formulaciones de bioplástico degradados en las orillas de río.

Repeticiones	F -1	F-2	F-3	F-4
R-1	95.5285	99.9173	94.9140	99.7470
R-2	95.3003	99.9254	97.7371	99.8868
R-3	95.2335	99.9326	92.3892	99.6682
R-4	94.8098	99.3256	93.2548	99.6587
R-5	96.0165	99.9598	96.9258	99.8796
Promedio	95.3777	99.8121	95.0442	99.7681

Porcentajes de la variación de peso en de las cuatro formulaciones de bioplástico degradados en agua estancada.

Repeticiones	F -1	F-2	F-3	F-4
R-1	71.6981	87.6864	77.8814	80.3793
R-2	74.9497	87.5057	77.1329	78.0432
R-3	74.9429	86.9799	77.8027	88.7903
R-4	73.9959	87.9823	78.1236	78.0598
R-5	73.7254	86.6254	76.9963	87.1541
Promedio	73.8624	87.3559	77.5874	82.4853

Porcentajes de la variación de peso en de las cuatro formulaciones de bioplástico degradados en la intemperie.

Repeticiones	F -1	F-2	F-3	F-4
R-1	60.0554	71.7635	66.3837	72.8286
R-2	61.1642	72.1791	66.1210	69.6301
R-3	59.9559	78.7023	65.4890	74.3226
R-4	59.5712	71.8987	65.0098	71.5654
R-5	61.2574	76.5584	66.9893	73.0025
Promedio	60.4008	74.2204	65.9986	72.2698

Anexo2. Tablas de resultados de las pruebas mecánicas

Porcentajes de elongación máxima de las cuatro formulaciones de bioplástico.

Rep.	F -1	F-2	F-3	F-4
R-1	15.2542	8.0460	20.5882	30.9278
R-2	18.1369	9.5745	21.8391	28.8889
R-3	17.9245	10.7843	23.9130	29.7619
R-4	16.2654	8.8014	20.9874	28.2549
R-5	17.9452	10.1189	23.3145	31.4897
Promedio	17.1052	9.4650	22.1285	29.8646

Longitud de flexión (cm) de las cuatro formulaciones de bioplástico.

Rep.	F -1	F-2	F-3	F-4
R-1	1.4000	0.5000	1.8000	3.4000
R-2	1.3000	0.5000	1.7000	3.0000
R-3	1.5000	0.4000	1.8000	3.2000
R-4	1.3000	0.4000	1.8000	3.3000
R-5	1.5000	0.5000	1.7000	3.1000
Promedio	1.4000	0.4600	1.7600	3.2000

Anexo 3. Galería de fotos en la obtención del almidón



Recepción y selección de materia prima



Pesado de la materia prima



Pelado mecánico



Inmersión en ácido cítrico



Trozado



Licudo



Decantado 1



Colado



Decantado 2



Almidón listo para el secado



Secado



Molido



Envasado



Prueba del Lugol

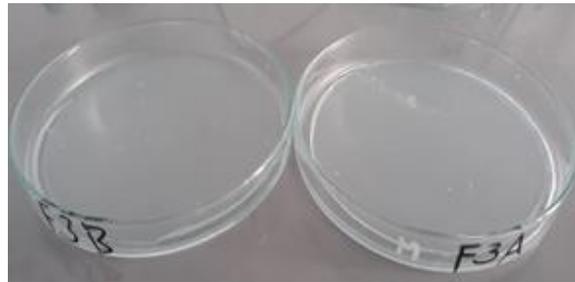
Anexo 4. Galería de fotos en la obtención del bioplástico



Insumos: agua, almidón, glicerina, ácido acético



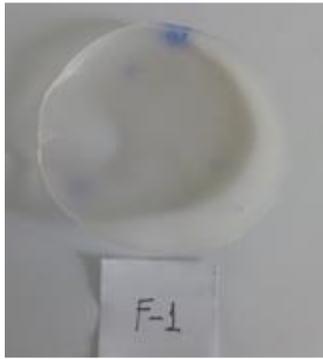
Homogenizado con agitación magnética



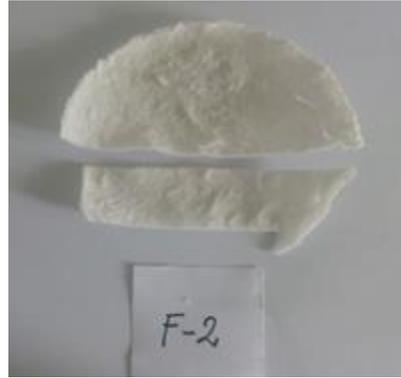
Moldeado en placas Petri



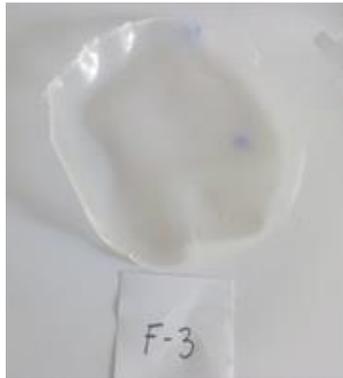
Desmoldeado de los bioplásticos



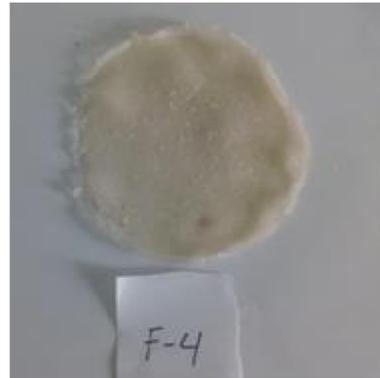
F-1



F-2



F-3



F-4

Anexo 5. Galería de fotos en la determinación de la degradabilidad

Degradación en suelo de relleno sanitario



Relleno sanitario “La Pushura”



Adecuación el suelo



Colocación de las muestras



Muestras enterradas



Extracción de las muestras

Residuos lavados de las muestras

Degradación a orillas de río



Acondicionando el lecho



Cavado del lecho de río



Colocación de muestras



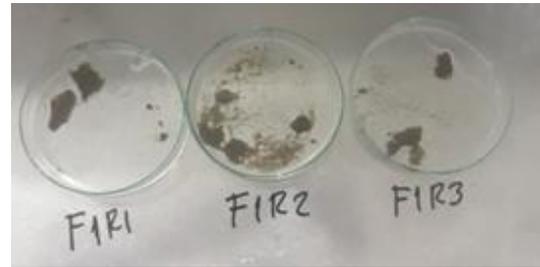
Enterrado de muestras



Desenterrando las muestras



Muestras extraídas del lecho de río



Sacando los residuos



Residuos extraídos



Residuos extraídos

Residuos lavados y secos

Degradación en la intemperie



Adecuación del espacio en una azotea



Colocación de muestras de bioplástico



Recojo de muestras residuales de bioplástico



Muestras residuales de bioplástico lavadas y secas

Degradación en agua estancada



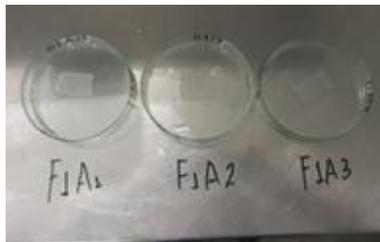
Acondicionado de las muestras



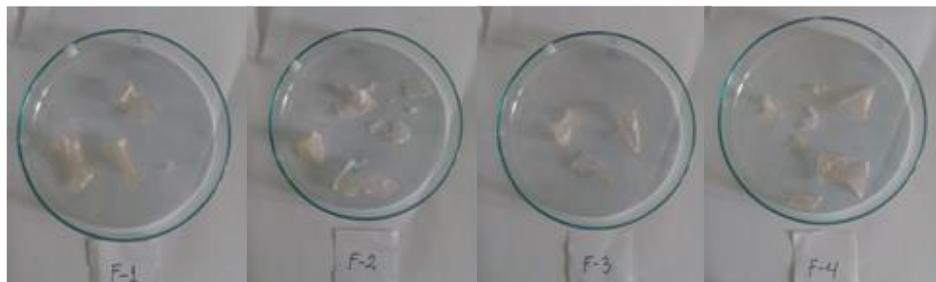
Colocando agua a las muestras acondicionadas



Recojo de muestras



Muestras extraídas del agua



Muestras secas

Anexo 6. Galería de fotos en la determinación de propiedades mecánicas.

Determinación del porcentaje de elongación



Dispositivo para determinar el porcentaje de elongación



Instante que se produce la fractura de la muestra

Determinación de la longitud de flexión



Dispositivo para determinar la longitud de flexión



Instante antes de la ruptura del material