



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA CÁSCARA DE BANANO
(*MUSA CAVENDISH*) Y PLÁTANO (*MUSA PARADISIÁCA*) PARA
LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS”**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. YULAY NAISA HUMPIRI MAMANI

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2018



DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a:

A mí querido padre Luis por su apoyo incondicional, guía y sus consejos que me ayudaron a ser mejor cada día. A la memoria de mi madre Evangelina que siempre me enseñó a ser una mujer luchadora y a seguir adelante para superar las dificultades de la vida.

A mis hermanos Clay por su aliento y apoyo que me brindaron en toda mi carrera universitaria y en especial a ti hermanita Ercy por siempre estar ahí cuando más te necesito muchas gracias.

A mi amado hijo Tarek por ser la fuerza e inspiración que me impulsa a seguir adelante, a ti Andres por tu amor, cariño y comprensión que siempre me demuestras y a pesar de las dificultades siempre estás ahí para brindarme todo tu apoyo

A todos mi amigos(a) que estuvieron ahí alentándome desde el inicio para que se haga realidad, y a todos los docentes por los conocimientos compartidos.



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por permitirme formarme en sus aulas como profesional y estar al servicio de la sociedad.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarme sus enseñanzas mediante los docentes y por permitirme compartir los claustros universitarios y culminar mi formación profesional.

Mi gratitud y agradecimiento a la M.Sc. Salomon Ttito Leon, director de tesis, quien fue el pilar para poder culminar este trabajo por brindarme valiosa información y sobre todo por motivarme a culminarlo, a quien le estaré agradecida por siempre.

A si mismo agradezco al Ing. Jorge Aruwanca Cartagena, por su guía y consejos que me ayudaron a culminar con mi trabajo de investigación.

A los miembros del jurado por su valioso aporte al trabajo de investigación al Dr. Sc. Norberto Sixto Miranda Zea, M.Sc. Roger Huanqui Perez, y al Ing. Marleni Yovanna Valencia Pacho.

A si mismo agradezco a el Ing. Martin del Megalaboratorio por su colaboración y aporte a mi trabajo de investigación.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 18

1.1.1. Formulación del Problema..... 18

1.1.2. Problemas Específicos 19

1.2. JUSTIFICACIÓN 19

1.3. OBJETIVOS..... 20

1.3.1. Objetivo general..... 20

1.3.2. Objetivos específicos 21

1.4. HIPÓTESIS 21

1.4.1. Hipótesis general..... 21

1.4.2. Hipótesis específica 21

CAPITULO II

REVISIÓN LITERARIA

2.1. ANTECEDENTE 22

2.2. MARCO TEÓRICO 28

2.2.1. Bioplásticos..... 28



2.2.2.	Historia del bioplástico	28
2.2.3.	Importancia del bioplástico.....	29
2.2.4.	Clasificación de bioplásticos	30
2.2.5.	Bioplásticos a partir de recursos renovables.....	31
2.2.6.	Los plásticos como problema ecológico.....	36
2.2.7.	Plásticos	38
2.2.8.	Historia de los plásticos	39
2.2.9.	Importancia y funciones.....	42
2.2.10.	Componentes de los plásticos	42
2.2.11.	Propiedades y características.....	43
2.2.12.	Tipos de plásticos	44
2.2.13.	Usos más comunes	47
2.2.14.	Banano y plátano.....	47
2.2.15.	Cáscara de banano y plátano	50
2.2.16.	Propiedades de la cáscara de banano y plátano.....	51
2.2.17.	Usos de la cáscara de banano y plátano	52
2.2.18.	Polisacáridos	53
2.2.19.	Almidón.....	54
2.2.20.	Propiedades físicas y químicas del almidón.....	55
2.2.21.	Usos y aplicaciones del almidón del banano y plátano.....	59
2.2.22.	Ventajas y desventajas del almidón de las cáscaras de banano y plátano para la elaboración de bioplástico	60
2.2.23.	Biodegradación	61
2.2.24.	Evaluación de biodegradación	62
2.2.25.	Métodos para comprobar la degradación	63



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.1.1. Ámbito del estudio	65
3.1.2. Materiales y reactivos	66
3.1.3. Método experimental	67
3.1.4. Determinación de pruebas fisicoquímicas preliminares	73
3.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	74
3.2.1. Desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística	74
3.2.2. Matriz de diseño.....	76

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DISCUSIÓN	126
V. CONCLUSIONES.....	128
VI. RECOMENDACIONES	130
VII. REFERENCIAS	131
ANEXOS.....	136

Área: Ciencia ambiental.

Línea: Tecnología de Energías Renovables.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de julio del 2018.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades nutritivas del plátano y banano	50
Tabla 2: Normas para la determinación de biodegradabilidad de plásticos	63
Tabla 3: Operacionalización de variables.....	74
Tabla 4: Identificación de variables y niveles de operación.....	76
Tabla 5: Matiz de diseño factorial $2^3=8$	77
Tabla 6: Codificación de variables	77
Tabla 7: Corridas experimentales para el diseño factorial con tres replicas en el punto central	78
Tabla 8: Coeficiente de regresión para la dureza del bioplástico de la cáscara del plátano	79
Tabla 9: Coeficiente de regresión para la dureza del bioplástico de la cáscara del banano	79
Tabla 10: Coeficiente de regresión para la elongación del bioplástico de la cáscara del plátano	79
Tabla 11: Coeficiente de regresión para la elongación del bioplástico de la cáscara del banano	79
Tabla 12: Coeficiente de regresión para la flexión del bioplástico de la cáscara del plátano	80
Tabla 13: Coeficiente de regresión para la flexión del bioplástico de la cáscara del banano	80
Tabla 14: Ecuación del modelo ajustado para el bioplástico de cáscara del plátano	80
Tabla 15: Ecuación del modelo ajustado para el bioplástico de cáscara del banano.....	81
Tabla 16: Analizar experimento – Rendimiento (dureza del bioplástico de cáscara del plátano).....	81
Tabla 17: Analizar experimento – Rendimiento (dureza del bioplástico de cáscara del banano).....	82
Tabla 18: Analizar experimento – Rendimiento (elongación del bioplástico de cáscara del plátano).....	82
Tabla 19: Analizar experimento – Rendimiento (elongación del bioplástico de cáscara del banano).....	82



Tabla 20: Analizar experimento – Rendimiento (flexión del bioplástico de cáscara del plátano).....	83
Tabla 21: Analizar experimento – Rendimiento (flexión del bioplástico de cáscara del banano)	83
Tabla 22: Análisis de la varianza para Y (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)	84
Tabla 23: Análisis de la varianza para Y (dureza del bioplástico de cáscara del banano)	85
Tabla 24: Análisis de la varianza para Y (elongación del bioplástico de cáscara del plátano).....	86
Tabla 25: Análisis de la varianza para Y (elongación del bioplástico de cáscara del banano)	87
Tabla 26: Análisis de la varianza para Y (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)	88
Tabla 27: Análisis de la varianza para Y (flexión del bioplástico de cáscara del banano)	89
Tabla 28: Efectos del proceso de la dureza del bioplástico de cáscara del plátano.....	90
Tabla 29: Efectos del proceso de la dureza del bioplástico de cáscara del banano	91
Tabla 30: Efectos del proceso de la elongación del bioplástico de cáscara del plátano	92
Tabla 31: Efectos del proceso de la elongación del bioplástico de cáscara del banano	93
Tabla 32: Efectos del proceso de la flexión del bioplástico de cáscara del plátano	94
Tabla 33: Efectos del proceso de la flexión del bioplástico de cáscara del banano	95
Tabla 34: Resultado de la estimación para Y (dureza del bioplástico de cáscara de plátano).....	104
Tabla 35: Resultado de la estimación para Y (dureza del bioplástico de cáscara de banano)	105
Tabla 36: Resultado de la estimación para Y (elongación del bioplástico de cáscara de plátano).....	105
Tabla 37: Resultado de la estimación para Y (elongación del bioplástico de cáscara de banano)	106
Tabla 38: Resultado de la estimación para Y (flexión del bioplástico de cáscara de plátano).....	107
Tabla 39: Resultado de la estimación para Y (flexión del bioplástico de cáscara de banano).....	107



Tabla 40: Ruta ascendente para Y (dureza del bioplástico de cáscara de plátano)	108
Tabla 41: Ruta ascendente para Y (dureza del bioplástico de cáscara de banano).....	109
Tabla 42: Ruta ascendente para Y (elongación del bioplástico de cáscara de plátano)	109
Tabla 43: Ruta ascendente para Y (elongación del bioplástico de cáscara de banano)	110
Tabla 44: Ruta ascendente para Y (flexión del bioplástico de cáscara de plátano).....	110
Tabla 45: Ruta ascendente para Y (flexión del bioplástico de cáscara de banano).....	111
Tabla 46: Insumos para la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano.....	112
Tabla 47: Parámetros para la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano	112
Tabla 48: Insumos para la obtención del bioplástico de la cáscara de banano	113
Tabla 49: Parámetros para la obtención del bioplásticos de la cáscara de banano	114
Tabla 50: Resultado de la dureza del bioplástico de la cáscara de plátano	115
Tabla 51: Resultado de la dureza del bioplástico de la cáscara de banano.....	116
Tabla 52: Resultado de la elongación del bioplástico de la cáscara de plátano	117
Tabla 53: Resultado de la elongación del bioplástico de la cáscara de banano.....	118
Tabla 54: Resultado de la flexión del bioplástico de la cáscara de plátano.....	120
Tabla 55: Resultado de la flexión del bioplástico de la cáscara de banano	121
Tabla 56: Resultado de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de plátano	122
Tabla 57: Resultado de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de banano	123



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de bioplásticos.....	35
Figura 2: Polietileno	38
Figura 3: Derivados del petróleo	39
Figura 4: Estructura del almidón amilosa y amilopectina	55
Figura 5: Ubicación geográfica UNA-Puno	66
Figura 6: Efectos principales Y (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)	90
Figura 7: Efectos principales Y (dureza del bioplástico de cáscara del banano)	91
Figura 8: Efectos principales Y (elongación del bioplástico de cáscara del plátano) ...	92
Figura 9: Efectos principales Y (elongación del bioplástico de cáscara del banano) ...	93
Figura 10: Efectos principales Y (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)	94
Figura 11: Efectos principales Y (flexión del bioplástico de cáscara del banano).....	95
Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)	96
Figura 13: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (dureza del bioplástico de cáscara del banano)	97
Figura 14: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (elongación del bioplástico de cáscara del plátano)	98
Figura 15: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (elongación del bioplástico de cáscara del banano).....	98
Figura 16: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)	99
Figura 17: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (flexión del bioplástico de cáscara del banano)	100



Figura 18: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la dureza del bioplástico de cáscara de plátano	101
Figura 19: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la dureza del bioplástico de cáscara de banano	101
Figura 20: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la elongación del bioplástico de cáscara de plátano.....	102
Figura 21: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la elongación del bioplástico de cáscara de banano.....	102
Figura 22: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la flexión del bioplástico de cáscara de plátano	103
Figura 23: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la flexión del bioplástico de cáscara de banano	103
Figura 24: Parámetros para la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano.....	113
Figura 25: Parámetros para la obtención del bioplásticos de la cáscara de banano	114
Figura 26: Resultados de la dureza del bioplástico de la cáscara de plátano	116
Figura 27: Resultados de la dureza del bioplástico de la cáscara de banano	117
Figura 28: Resultados de la elongación del bioplástico de la cáscara de plátano	118
Figura 29: Resultados de la elongación del bioplástico de la cáscara de banano.....	119
Figura 30: Resultados de la flexión del bioplástico de la cáscara de plátano.....	120
Figura 31: Resultados de la flexión del bioplástico de la cáscara de banano.....	121
Figura 32: Resultados de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de plátano	123
Figura 33: Resultados de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de banano.....	125



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
atm	Atmósfera
°C	Grados centígrados
cm	Centímetros
CO₂	Dióxido de carbono
BDO	1,4 butanodiol
BDP	Plásticos biodegradables
BPL	Bioplástico
DMT	Tereftalato de dimetilo
DSC	Calorimetría diferencial de barrido
DW	Durbin Watson
EPS	Poliestireno expandido
g	Gramos
HCl	Ácido clorhídrico
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
Kcal	Kilocalorías
MAE	Error medio absoluto
mg	Miligramos
min	Minutos
mm	Milímetros
mL	Militros
N	Newton



NaOH	Hidróxido de sodio
PBS	Poli(succinato de butilenglicol)
PBT	Poli(tereftalato de butilenglicol)
PET	Tereftalato de polietileno
PHA	Polihidroxialcanoatos
PDO	1,3 propanodiol
PE	Polietileno
PA	Poliamidas
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PLA	Poli(ácido láctico)
PTT	Poli(tereftalato de trimetilenglicol)
PTFE	Politetrafluoretileno
PUR	Poliuretanos
PVC	Policloruro de vinilo
TGA	Termogravimétrico
TPS	Almidón termoplástico
%	Porcentaje



RESUMEN

El uso de plásticos ha provocado un grave problema de contaminación ambiental en el mundo debido al tiempo que se tarda en degradarse, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo de reutilizar los residuos de la cáscara de banano y plátano para obtener un bioplástico a base de almidón extraído de estas cáscaras. Para la obtención del bioplástico se usó dos métodos de polimerización: el primer método inicia con el lavado, secado y trituración para la muestra necesaria. Con esta muestra se procederá a adicionarle los insumos correspondientes para seguir con el moldeado y secado obteniendo así el bioplástico.

El segundo método colocamos las cáscaras de banano y plátano con bisulfito de sodio esto para evitar el pardeamiento enzimático. Luego colocamos las cáscaras en agua destilada hasta ebullición, para después llevarlas a secado y trituración hasta formar la pasta (almidón). Seguidamente le adicionamos HCl, glicerol y NaOH. La mezcla obtenida pasa a moldeado y secado obteniendo el bioplástico deseado. Después de haber obtenido el bioplástico se procedió a la medición de las pruebas fisicoquímicas de dureza, elongación y flexión; se obtuvo mejores resultados con el bioplástico de la cáscara de banano, además de la prueba de degradabilidad bajo agua en ambos bioplásticos para ver cómo se va degradando el bioplástico al transcurso de los días (1 día - 40 días), en donde el bioplástico de la cáscara de plátano tubo una degradación entre 2.46% hasta 85.64%, para el bioplástico de la cáscara de banano la degradación fue desde un 2.94% hasta 84.39%, lo que indica que ambos bioplásticos se degradan fácilmente. Se logró alcanzar el objetivo planteado obteniendo mejores resultados con el segundo método.

Palabras claves: *Bioplástico, Residuos orgánicos, almidón, biodegradación, banano.*



ABSTRACT

The use of polymers has caused a serious problem of environmental contamination in the world due to the time it takes to degrade, the present research work aims to reuse the residues of the banana and plantain peel to obtain a bioplastic based on starch extracted from these shells. To obtain the bioplastic, two polymerization methods were used: the first method begins with washing, drying and grinding for the necessary sample. With this sample, the corresponding inputs will be added to continue with the molding and drying, thus obtaining the bioplastic.

The second method is to place the banana and plantain peels with sodium bisulfite this to avoid enzymatic browning. Then we place the shells in distilled water until boiling, then take them to drying and crushing until they form a paste (starch). Next we add HCl, glycerol and NaOH. The mixture obtained passes to molding and drying obtaining the desired bioplastic. After having obtained the bioplastic, the physicochemical tests of hardness, elongation and flexion were measured; Better results were obtained with the bioplastic from the banana peel, in addition to the underwater degradability test on both bioplastics to see how the bioplastic degrades over the days (1 day - 40 days), where the bioplastic from the peel of banana had a degradation between 2.46% and 85.64%, for the bioplastic of the banana peel the degradation was from 2.94% to 84.39%, which indicates that both bioplastics are easily degraded. The objective set was achieved, obtaining better results with the second method.

Keywords: *Bioplastic, organic waste, starch, biodegradation, banana.*



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales que se utilizan para la elaboración de muchos insumos necesarios para el ser humano. Al momento de ser descartados estos insumos pasan a formar parte de rellenos sanitarios en los cuales constituyen una gran fuente de contaminación ya que los plásticos son materiales que se derivan de combustibles fósiles, los cuales son fuentes no renovables y cuyo uso produce emisión de gases que contaminan la atmosfera y resultan tóxicos para la vida. (Iguardia Arrivillaga, 2013)

Los residuos sólidos son desechos orgánicos e inorgánicos que se generan tras el proceso de fabricación, transformación o utilización de bienes y servicios. Si estos residuos no se manejan adecuadamente, producen contaminación ambiental y riesgos para la salud de las personas. Por su composición, estos residuos son, en mayor cantidad restos orgánicos, de cocina y alimentos (47%), plástico (9.48%) y residuos peligrosos (6.37%), es decir, aquellos residuos que representan riesgos para la salud de las personas, como relaves mineros y residuos industriales u hospitalarios. Continúan en la lista, pero en menor proporción: papel, residuos de construcción, vidrio, cartón, fierro, madera y residuos electrónicos, entre otros. (REDRRSS-PE.,2011

Teniendo en cuenta la gran contaminación a causa de los plásticos y residuos orgánicos el presente trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera:



En el Capítulo I, se describe el plan de investigación; los objetivos de la investigación; delimitaciones de la investigación.

En el Capítulo II, se establece la revisión de literatura, realizando una recopilación de antecedentes de estudio e investigación, así como el marco teórico.

En el Capítulo III, se describe todo los materiales y métodos, que contiene el ámbito de estudio el método experimental, el procesamiento y análisis de los datos

En el Capítulo IV, se presentan los resultados de la aplicación de los instrumentos de investigación, la discusión y para concluir tenemos las conclusiones y recomendaciones.



1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El plástico convencional cuando se desecha permanece en el ambiente durante siglos y en muchos casos es imposible recogerlo. Obstruyendo alcantarillas y drenajes, matando animales en la tierra, ríos y océanos, y desfigurando calles, playas y paisajes.

Uno de los principales problemas del plástico convencional lo constituyen las emisiones de efecto invernadero que se producen como resultado de su fabricación.

Así como los plásticos los desechos orgánicos como la cáscara de banano y plátano también son un problema ya que contribuyen con la contaminación, ya que estos residuos al descomponerse albergan microorganismos que con el tiempo pueden ser una fuente de enfermedades.

1.1.1. Formulación del Problema

El plástico es la tercera aplicación del petróleo más usada en el mundo, y al año consumimos 200 millones de toneladas en el planeta. Proviene de fuente no renovable (petróleo), es contaminante y no biodegradable (puede tardar hasta más de 1000 años en descomponerse). Además la disposición de estos residuos no es la correcta, por lo que muchos de ellos se acumulan en arroyos, ríos, mares y Océano.

El problema se agrava porque la creciente actividad industrial genera muchos productos que son tóxicos o muy difíciles de incorporar a los ciclos de los elementos naturales, me planteo la siguiente interrogante:

¿En qué medida se podrá reutilizar los residuos de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisíaca) para obtener un bioplástico por transformación química?



1.1.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Será posible extraer el almidón de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) para la obtención de bioplástico?
- ✓ ¿Cuál de los métodos empleados es el más adecuado en la obtención de bioplástico?
- ✓ ¿Se puede describir las características de calidad del bioplástico a través de pruebas fisicoquímicas?
- ✓ ¿Se podrá determinar la degradabilidad del bioplástico elaborado de los residuos de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) mediante pruebas fisicoquímicas?

1.2.JUSTIFICACIÓN

La obtención de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos tiene un enorme potencial a futuro debido a su aporte ecológico y aprovechamiento de los recursos naturales en vez de derivados del petróleo. La explotación del petróleo recurso natural que es utilizado como materia prima para la elaboración de plástico, este conduce inevitablemente al deterioro gradual del medio ambiente que afecta en forma directa al suelo, agua, aire y a la fauna y la flora.

Los estudios realizados revelan que el plástico puede tardar entre 100 y 1000 años para degradarse dependiendo del tipo de plástico, lo más grave es que los plásticos contaminan nuestros lagos, mares, océanos y otros lo que afecta directamente a la vida marina ya que al ser el plástico un material con bajo peso se desplaza fácilmente y además de ser una amenaza para la biodiversidad marina. Los animales se enredan con estos, y pueden resultar heridos, inmóviles o muertos. Los plásticos se terminan fragmentando en el ambiente y como consecuencia pueden ser ingeridos por



diferentes especies que los confunden con comida, esto puede significar la muerte instantánea por ahogamiento o afectar internamente el organismo del animal. (Jache Chamorro, R., 2014)

Debido al problema que causan los plásticos convencionales con su descomposición me he propuesto procesar plásticos que se desintegren fácilmente en el medio en que vivimos, este a su vez va a tener cualidades similares al plástico derivado del petróleo como su resistencia, eficacia entre otras, ahí surge la idea de crear un bioplástico el cual se desintegra fácilmente en el ambiente, debido a que está elaborado de material orgánico, lo cual no es perjudicial para el ambiente y aun mucho más si se reutilizan los desechos orgánicos. (Jache Chamorro, R., 2014)

Económica y social

El trabajo de investigación permite reducir los costos de producción ya que el bioplástico está elaborado de un residuo como las cáscaras de banano y plátano lo que nos ayuda a reducir el costo de materia prima, sin afectar la calidad del bioplástico y además de reducir la contaminación que afecta a todos los seres vivos, evitando enfermedades y por eso este trabajo de investigación es una buena alternativa ya que el tiempo de degradación de un bioplástico es mucho menor, además de estar elaborado de un residuo orgánico lo cual es mucho más favorable ya que no utilizamos una materia prima natural.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Reutilizar los residuos de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisíaca) para obtener un bioplástico por transformaciones químicas.



1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Extraer el almidón de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) para obtener un bioplástico por proceso químico.
- ✓ Determinar cuál de los métodos de polimerización empleados es el más adecuado en la obtención de bioplástico.
- ✓ Describir las características de calidad del bioplástico a través de pruebas fisicoquímicas.
- ✓ Determinar la degradabilidad del bioplástico elaborado de los residuos de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) mediante pruebas fisicoquímicas.

1.4.HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

Por medio de transformaciones químicas de los residuos de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) se llega a obtener un bioplástico.

1.4.2. Hipótesis específica

- Con la extracción del almidón de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) es posible la obtención de bioplástico.
- Los métodos empleados en la obtención de bioplástico son los adecuados.
- Las características de calidad del bioplástico se describen a través pruebas fisicoquímicas.
- La degradabilidad del bioplástico elaborado de los residuos de las cáscaras de banano (musa cavendish) y plátano (musa paradisiáca) se determinan mediante pruebas fisicoquímicas.



CAPITULO II

REVISIÓN LITERARIA

2.1. ANTECEDENTE

Sánchez, Y. (2014). De la Universidad Privada Antenor Orrego en la Facultad de Ciencias Agrarias realizó el efecto de la aplicación de coberturas biodegradables y la temperatura sobre el color, firmeza, pérdida de peso y la aceptabilidad general en la palta (persea americana mill) variedad fuerte, durante el almacenamiento. En la cual se obtuvo la mayor aceptabilidad general en palta, a los 30 días de almacenamiento. El análisis de varianza indicó que existió un efecto significativo de la cobertura biodegradable, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color 2.161, 1.633 y 2.304 de la cáscara, parámetro de color 1.633 en la pulpa, firmeza y pérdida de peso en palta. Efecto significativo de la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color 2.161 y 2.304 de la pulpa en palta.

López, J., Cuarán, J., Arenas, L., & Flórez, L. (2014). En la Revista colombiana de investigaciones agroindustriales publicó los usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico en lo cual para observar su valorización se efectuó una caracterización morfológica, química y térmica; se utilizaron diferentes tinciones para identificar las estructuras donde se encontraban la celulosa, lignina, lípidos y almidón. Luego se determinó el contenido de extraíbles en cloroformo-metanol, la celulosa, la hemicelulosa y cenizas por el método de Van Soest y lignina por Klason. El análisis térmico se hizo por un análisis TGA – Termogravimétrico y DSC – Calorimetría



Diferencial de Barrido. El estudio térmico indicó que la biomasa se volatiliza en un rango de temperatura entre 200 - 400°C y que la lignina residual es la más recalcitrante a la descomposición. Se desarrolló la metodología para fabricar el bioplástico a partir de todo el material contenido en las cáscaras del banano, sin necesidad de aislar el almidón, como se hace en muchas investigaciones. Pero esto afectó la calidad del biomaterial, por lo que se hace necesario continuar con las investigaciones para mejorar la homogeneidad del producto, que tuvo una vida media superior a los quince días.

Meza, Ramos, P. (2016). De la Universidad Nacional Agraria La Molina en la Facultad de Ciencias realizó elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio, La eficiencia obtenida en el proceso de extracción de almidón es de 35.06% con respecto al residuo sólido. Dicho almidón contiene 26.21% de amilosa y 73.79% de amilopectina, y el espectro infrarrojo arroja un 89.8% de similitud con el espectro del almidón soluble. Las pruebas de tracción y elongación indicaron un esfuerzo máximo de 1.47MPa y una elongación máxima de 19.99%, el análisis infrarrojo indicó variaciones en los picos que explican la formación de enlaces característicos del bioplástico. En la última etapa se utilizó compost como medio de degradación, polietileno de baja densidad como control negativo, celulosa como control positivo y el bioplástico a analizar; el bioplástico alcanzó 64.21%, seguido muy de cerca por la celulosa con 63.51%, el polietileno de baja densidad obtuvo 6.95% y finalmente el blanco obtuvo 0.83%.

Campos, P., González, S., & Reyes, N., (2009). De la Universidad de Chile se llevó a cabo un Seminario de Procesos de producción y materiales industriales



II donde se trató los Bioplásticos utilizados en la agroindustria, aplicación en láminas para la germinación de la semilla del pimiento donde sus objetivos son crear valor público y privado para el sector empresarial, tanto para el grupo pyme como grandes empresas, aportar conocimientos tecnológicos, que generen dinamismo y competitividad a nivel nacional e internacional y satisfacer la demanda producida por la competencia del mercado, a través de constantes investigaciones que nos lleven a mejorar en post de la innovación. La incorporación de un habitáculo de plástico, genera condiciones favorables de humedad y temperatura para la germinación de semillas de pimiento. Al establecer las altas posibilidades para producirlo, establecemos que una aplicación directa y de gran relevancia a nivel operacional, tecnológico y económico, se encuentra en el área de la agroindustria, detectando un problema específico en la etapa de germinación, al que dará respuesta el uso de bioplástico, en su configuración como “lámina germinadora de semillas”.

Bejarano, N. (2014). De la Universidad de San Buenaventura Cali en la Facultad de Ingeniería realizó un estudio de evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada. Se obtuvieron valores de esfuerzo de tensión de 1.805 ± 0.2 MPas y flexión de $3,5 \pm 0.2$ MPas con una temperatura de 200°C , los cuales fueron menores a los obtenidos en este trabajo. Teniendo en cuenta resultados comunes de las variables de respuesta evaluadas, se concluye que el mejor tratamiento fue el obtenido a 180°C y 0 psi.

Zárate, Ramírez, S. (2011). De la Universidad de Sevilla en la Facultad de Química obtuvieron materiales poliméricos biodegradables preparados mediante procesado termomecánico a partir de mezclas gluten/plastificante, los materiales



que se utilizaron para la producción de bioplásticos provenientes de biopolímeros se dividen en cuatro categorías: hidrocoloides, lípidos, resinas y sistemas compuestos. Se determinó que estos sistemas presentan bajas propiedades mecánicas y térmicas pero una mayor capacidad de absorción de agua. En este trabajo se eligió el sistema 50/18, compuesto por 50% de gluten, 18% de glicerol y 32% aproximadamente de agua, para el procesado se seleccionó mezclado y termomoldeo por compresión. El plastificante, mezcla de agua y glicerol, se mezcla con el gluten en una proporción de 0.5, similar a las utilizadas en otros estudios relacionados.

Hernández, Martínez, H. (2013). De la Universidad Iberoamericana de la ciudad de México, se realizó utilización de lignina de olote de maíz como componente en películas base almidón, se desarrolló material filmogénico a partir de la lignina extraída de olote de maíz y almidón en presencia de un plastificante, los rangos de concentración para almidón (60 – 95%), glicerol (5 – 30%) y lignina (0 – 20%). Una vez obtenida las películas se caracterizaron las propiedades mecánicas (tensión, elongación y módulo de Young), los materiales con contenido de lignina presentaron valores de tensión a la ruptura entre 0.61 – 2.96MPa, respectivamente valores bajos respecto a los materiales que no contiene lignina (4.47 – 6.95MPa), en cuanto a la elongación se logró mejorar un 12% con respecto al material con alto contenido de glicerol entre los dos materiales sin contenido de lignina, siendo en el mayor de los casos más grandes con respecto al material con bajo contenido de este componente. La permeabilidad al vapor de agua se vio disminuida por la presencia de lignina, sin embargo el contenido de glicerol favoreció el incremento en la permeabilidad independientemente de la concentración de lignina.



Iguardia, C. H. (2013). De la Universidad de San Carlos de Guatemala de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia realizó síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish). El porcentaje de rendimiento (extracción) total de los 199 bananos utilizados como materia prima fue de 24.03%, lo que representó 2691.67 gramos de almidón provenientes de 11202.84 gramos de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish). Tiene en promedio una dureza shore A de 6.72 y una tensión promedio de 0.085Mpa, lo que indica que esta fórmula no es muy rígida y no soporta esfuerzos muy grandes.

Chariguamán, J. A. (2015). De la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano de Honduras realizó Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.) Esta investigación se plasmó con el fin de elaborar un bioplástico reforzado con fibra de maracuyá, aplicando el método de casting y evaluar su efecto en las propiedades físicas y su tiempo de degradación. Los resultados de la fuerza de perforación del bioplástico a base de harina de albedo de maracuyá, donde se encontraron valores de 1.41N hasta 4.65N, los resultados del análisis de deformación por elongación, el tratamiento con mayor porcentaje de deformación 27% fue el 10 este posee 5% de harina de albedo de maracuyá, 45% de glicerol, 50% de almidón de maíz y 50% de almidón de yuca este tratamiento es un punto axial positivo ($+\alpha$) de la variable harina de albedo de maracuyá. Y el tratamiento 17 presentó un menor porcentaje de deformación 11.7% este tratamiento es una repetición del punto central de la variable harina de albedo de maracuyá. Se obtuvieron siete regresiones matemáticas con carácter predictivo y dos de carácter tendencioso. Con una combinación de 2.83% de harina de



maracuyá, 49.5% de glicerol y una relación de 50:50 de almidón de maíz/yuca se logra optimizar las variables físicas del bioplásticos.

Valarezo, M. J. (2012) De la Universidad Técnica particular de Loja, Ecuador realizo el desarrollo de biopolímeros a partir del almidón de corteza de yuca (*Manihot esculenta*), el biopolímero obtenido esta constituido de 19.36% de almidón, 6.31% de glicerina, 74.08% de agua y 0.25% de ácido acético. Presento una densidad de 6,44 gr/cm³, 0.0mm de penetración y 25,3% de aumento de peso por absorción de agua. La temperatura óptima a la cual se a procesado es de 69°C.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Bioplásticos

Se denomina bioplástico a un tipo de plásticos derivados de productos vegetales, tales como el aceite de soja, el maíz o la fécula de patata, a diferencia de los plásticos convencionales, derivados del petróleo. Los plásticos tradicionales (polietileno, polipropileno, ABS, PET, entre otros) están sintetizados a partir del petróleo por la industria petroquímica. La carestía de este combustible fósil, su carácter de resistencia a la degradación natural y el hecho de que es una fuente que, tarde o temprano, acabará por agotarse, ha llevado a algunas partes de la industria a buscar alternativas. El poliácido láctico, sintetizado a partir del maíz, es una de las más prometedoras. (LVM, 2017)

Los "bioplásticos" (BPL) son aquellos materiales plásticos, considerados biodegradables (se degradan por la acción de microorganismos), que tienen su origen en materias orgánicas (recursos agrícolas, forestales y animales) en principio renovables. Es decir, un bioplástico sería un polímero de origen orgánico (biopolímero) catalogado como biodegradable y obtenido a partir de una fuente de materia prima renovable. Aquí los BPL se englobarían dentro de los "plásticos biodegradables" (BDP) que al igual que los BPL se degradan a través de microorganismos, pero que pueden tener su origen en fuentes no renovables (fuentes fósiles: derivados del petróleo). (ECOEMBES, 2009)

2.2.2. Historia del bioplástico

Los primeros plásticos derivaron de materiales orgánicos, aunque originalmente no fueron llamados bioplásticos. EL pionero fue John Wesley Hyatt Jr. en 1869 creó un plástico derivado de celulosa de algodón como



sustituto del marfil. Años más tarde se creó el celuloide, un material que aún se utiliza para fabricar películas fotográficas y de filmación. Otro plástico derivado de celulosa, el celofán creado en 1912, hoy en día también es utilizado.

En 1910, el científico ruso Sergéi Lébedev creó el primer polímero de caucho sintetizado a partir del butadieno y desde entonces los plásticos sintéticos han desplazado a los bioplásticos. Los plásticos derivados del petróleo eran más económicos y adecuados para una producción masiva, además tenían mejores propiedades mecánicas. Es así que en la primera mitad del siglo se crearon muchos de los plásticos que empleamos hoy en día. El primero de ellos fue el PVC (1936), luego el poliuretano (1937) y el poliéster insaturado o PET, el cual fue patentado en 1942 y que desde entonces se ha convertido la principal materia prima para elaborar botellas de plástico.

2.2.3. Importancia del bioplástico

La gestión de residuos es un problema mundial y eso no es noticia. Alrededor del 5% del petróleo que se consume anualmente en el mundo se utiliza para la fabricación de plásticos. El desarrollo de nuevos materiales que no sólo sean biodegradables sino que igualen o superen la calidad de los que se utilizan actualmente, es un desafío para la industria química. (Meza Ramos, 2016)

Los estudios actuales indican que los bioplásticos pueden emitir hasta un 70% menos de carbono que los derivados del petróleo. “Los bioplásticos son un avance tangible hacia una economía basada en la sostenibilidad. Esta nueva generación de materiales no sólo reduce nuestra dependencia del petróleo sino que ofrece calidad superior respecto a los plásticos tradicionales”. Además, comienza a degradarse más rápidamente, aunque de ser necesario esto podría regularse. (Meza Ramos, 2016)



2.2.4. Clasificación de bioplásticos

- Bioplásticos procedentes de recursos renovables. En el presente informe en este grupo se han incluido tanto los extraídos directamente a partir de biomasa, tales como el almidón y la celulosa, como aquéllos cuyos monómeros pueden producirse mediante fermentación de recursos renovables, aunque el proceso de polimerización posterior sea por vía química convencional. Dentro de este último grupo, el principal representante es el PLA (poli(ácido láctico)) aunque se incluyen otros cuyos monómeros pueden obtenerse, al menos potencialmente, a partir de recursos renovables, como son el PTT, PBT, poliamidas, etc. (Meza Ramos, 2016)
- Polímeros biodegradables basados en monómeros procedentes de la industria petroquímica. Encajan en la definición de bioplásticos pues cumplen los criterios de la norma en 1342 para biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. Sus principales representantes son los poliésteres alifáticos y alifáticos - aromáticos así como el poli (alcohol vinílico) y las poliéster-amidas. (Meza Ramos, 2016)
- Bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica. Hay dos puntos de vista desde los que la biotecnología puede intervenir en la producción de bioplásticos. Uno de ellos es proporcionando los monómeros requeridos para la síntesis de los bioplásticos, cuya polimerización se lleva posteriormente a cabo por vía química. En el presente informe, dentro de este capítulo se describe la síntesis de estos monómeros mediante biotecnología, sin embargo sus polímeros se incluyen en el primer apartado. (Meza Ramos, 2016)
- Otro punto de vista consiste en la síntesis integral de los bioplásticos mediante procedimientos biotecnológicos, fundamentalmente por fermentación



microbiana, aunque se están contemplando a más largo plazo otras tecnologías basadas en la utilización de plantas genéticamente modificadas como auténticas factorías de bioplásticos, que sin embargo en Europa no son muy aceptadas. En este capítulo, los principales representantes son los polihidroxicanoatos (PHA). (Meza Ramos, 2016)

2.2.5. Bioplásticos a partir de recursos renovables

2.2.5.1. Celulosa

La celulosa es un polisacárido complejo con morfología cristalina. Se forma por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico. Es una hexosa que por hidrólisis da glucosa, aunque es más resistente a la hidrólisis que el almidón. La cadena polimérica tiene un peso molecular variable, siendo su fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n=200$. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, estructura que hace que sea insoluble en ésta y que origina fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales. (I. López, N., A. Ruiz, J., & Pettinari, M.; 2004)

2.2.5.2. Almidón

Un polímero de almidón es un material termoplástico resultante del procesado del almidón natural por medios químicos, térmicos o mecánicos. Debido a su costo relativamente bajo, son atractivos como sustitutos de los plásticos basados en la petroquímica. Cuando son copolimerizados con otros polímeros pueden obtenerse copolímeros tan flexibles como el polietileno o tan rígidos como el poliestireno.



El almidón es el polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas. Está realmente formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina, constituidos por unidades de glucosa. (I. López, N., A. Ruiz, J., & Pettinari, M.; 2004)

2.2.5.3. Poli(ácido láctico) (PLA)

Desde la puesta en marcha en el año 2002 de la planta de producción de PLA de Cargill Dow, el PLA es el segundo bioplástico producido a gran escala después del almidón. El Poli(ácido láctico) (PLA) es un poliéster alifático derivado al 100% de materias primas renovables, que se produce a partir de ácido láctico.

El ácido láctico (ácido 2-hidroxipropiónico) es el ácido hidroxicarboxílico más simple que presenta un carbono asimétrico, por lo que existen dos estereoisómeros D(+) o L(-). La forma L(-) es la natural. El ácido láctico se produce por fermentación anaerobia de substratos que contengan carbono, ya sean puros (glucosa, lactosa, etc.) o impuros (almidón, melazas, etc.) con microorganismos tales como bacterias del tipo *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus* and *Streptococcus* o ciertos hongos tales como *Rhizopus Oryzae*. La selección de la bacteria utilizada permite producir solo uno de los isómeros D (+) o L (-). (REMAR, 2011)

2.2.5.4. Poliésteres a partir de recursos renovables

Aparte del poli(ácido láctico), existen otros poliésteres que pueden producirse a partir de recursos renovables. Estos poliésteres se fabrican a partir de un diol y uno o más ácidos dicarboxílicos. Los dioles utilizados son el 1,3-propanodiol (PDO) o el 1,4butanodiol (BDO) que pueden estar basados en recursos



renovables. El diácido puede también estar basado en recursos renovables (ácido succínico o adípico) o proceder de la industria petroquímica (ácido tereftálico o tereftalato de dimetilo (DMT)). (REMAR, 2011)

2.2.5.5. *Poli(tereftalato de trimetilenglicol) (PTT)*

El poli(tereftalato de trimetilenglicol) (PTT), es un poliéster aromático lineal producido por la policondensación de 1,3 propanodiol (PDO) con ácido tereftálico o tereftalato de dimetilo. Tradicionalmente, el diol y el diácido utilizados para su fabricación procedían de la industria petroquímica pero en 2004 DuPont formó una alianza con Tate & Lyle para la producción de PDO (Bio-PDO™) por fermentación. La obtención de PDO por fermentación incluye dos pasos: la fermentación de glucosa a glicerol mediante levaduras y la fermentación de este glicerol a PDO mediante bacterias. (REMAR, 2011)

2.2.5.6. *Poli(tereftalato de butilenglicol) (PBT)*

El PBT es un poliéster aromático lineal producido por la transesterificación y policondensación de tereftalato de dimetilo (DMT) con 1,4-butanodiol, aunque también puede producirse a partir de ácido tereftálico purificado y BDO (1,4-butanodiol). Puede producirse a partir de monómeros basados en recursos naturales; sin embargo, pesar de los numerosos estudios llevados a cabo, todavía no existen procesos económicamente viables para la síntesis de BDO a partir de los mismos. (REMAR, 2011)

2.2.5.7. *Poli(succinato de butilenglicol) (PBS)*

El Poli(succinato de butilenglicol) (PBS) es un poliéster alifático biodegradable con propiedades similares al PET. Sus propiedades mecánicas son excelentes y puede procesarse mediante técnicas convencionales usando equipos



para poliolefinas en el intervalo de temperatura de 160-200°C. El PBS se produce normalmente mediante la polimerización por condensación de ácido succínico y 1,4-butanodiol (BDO). El ácido succínico puede también producirse mediante fermentación a partir de carbohidratos. (REMAR, 2011)

2.2.5.8. Poliuretanos (PUR)

Los poliuretanos se fabrican por la reacción de un poliol y un isocianato. Mientras que el isocianato procede siempre de materias primas de origen petroquímico, para algunas aplicaciones el poliol puede proceder de fuentes renovables. Así, se pueden obtener polioles a partir de aceites vegetales como ricino, colza, soja, girasol y linaza. También los polioles-poliésteres pueden proceder de materias primas renovables. Por ejemplo, el di-o triácido podría ser un producto de fermentación, tal como el ácido succínico o el ácido adípico, y el diol podría ser 1,2-propanodiol, 1,4-butanodiol o glicerol. Sin embargo, estos polioles-poliésteres todavía no resultan económicamente viables debido a los altos costes asociados a la propia materia prima y al procesado. (REMAR, 2011)

2.2.5.9. Poliamidas

Existen rutas para la producción de poliamidas en las que se utilizan compuestos intermediarios producidos a partir de recursos renovables, en concreto para el nailon 66, nailon 69 y nailon 6. Sin embargo, estas tecnologías todavía no se utilizan comercialmente debido a los altos costes de producción de los compuestos intermediarios a partir de recursos renovables en comparación con su obtención a partir de productos petroquímicos. (REMAR, 2011)

La poliamida 6,6 se fabrica por policondensación de hexametildiamina con ácido 446 adípico.

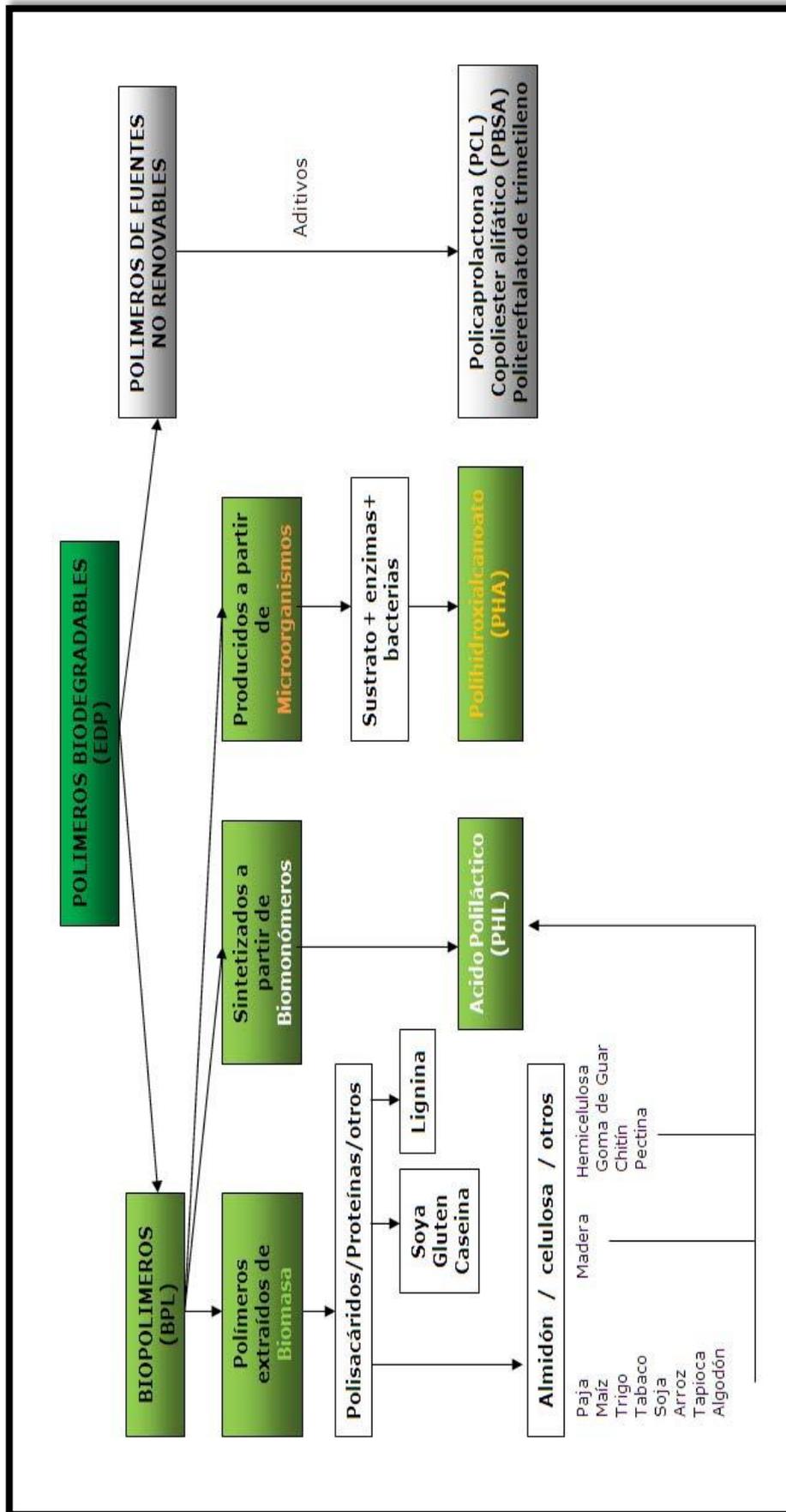


Figura 1: Tipos de bioplásticos

Fuente: Remar, 2011

2.2.6. Los plásticos como problema ecológico

La polución por plástico o contaminación por plástico es la acumulación de productos de plástico en el medio ambiente que produce efectos adversos sobre la vida silvestre, el hábitat de la vida silvestre, o los humanos. Existen numerosos tipos y formas de polución por plástico. La polución por plástico puede afectar de forma negativa a los terrenos, cursos de agua y océanos. En determinadas regiones se han implementado planes para intentar reducir el consumo de plástico y promover el reciclado de plástico. La importancia y extensión de la polución por plástico esta correlacionada con el bajo costo y durabilidad del plástico, lo que conduce a que los seres humanos utilicen gran cantidad de elementos de plástico. (DERRAIK, 2002)

Un gran porcentaje del plástico producido cada año es utilizado una sola vez, elementos de envolturas descartables o productos que serán descartados al cabo de un año. A menudo, los consumidores de diversos tipos de plásticos los utilizan para un propósito único y luego los desechan o reciclan. (FEDIT, 2007)

Efectos sobre el medio ambiente:

Tierra: Los plásticos clorados pueden liberar químicos dañinos al suelo, que luego pueden filtrar hacia el agua subterránea u otras fuentes de aguas en las inmediaciones. Ello puede causar serios daños en las especies que consumen el agua. (DERRAIK, 2002)

Océano: Los plásticos son comercializados a menudo, para ser utilizados en la fabricación de productos plásticos. Una cantidad significativa es volcada en los océanos. Por lo general los plásticos tardan un año en degradarse en los océanos, pero no por completo, y en este proceso ciertos elementos químicos



tóxicos tales como bisfenol A y poliestireno pueden ser liberados por determinados plásticos hacia las aguas. Son los tipos más comunes de polución por plástico en los océanos, y junto con las bolsas plásticas y los receptáculos de comida constituyen la mayor parte de la basura de los océanos. (DERRAIK, 2002)

Efectos sobre los animales

La polución por plástico puede potencialmente envenenar a los animales, lo cual puede afectar de manera negativa el suministro de alimentos del ser humano. Se ha determinado que algunas especies marinas, tales como las tortugas de mar, contienen grandes cantidades de plásticos en su estómago. Por lo general en estos casos el animal muere de hambre, porque el plástico bloquea el aparato digestivo del animal. A veces los mamíferos marinos quedan enredados en productos plásticos tales como redes de pesca, lo cual los puede llegar a dañar o aun producirles la muerte.

Existen registros que indican que más de 260 especies, incluidos invertebrados, han ingerido plástico o han quedado enredados en elementos de plástico. Se ha estimado que más de 400,000 mamíferos marinos mueren cada año a causa de la polución por plástico de los océanos. (DERRAIK, 2002)

Efectos sobre los seres humanos

Los plásticos contienen numerosos tipos de elementos químicos, según sea el tipo de plástico. El agregado de químicos es la principal razón por la cual estos plásticos se han convertido en multipropósito, sin embargo ello acarrea ciertos problemas. Algunos de los elementos químicos que se utilizan en la producción de plástico pueden potencialmente ser absorbidos por los seres humanos mediante absorción por la piel. No se sabe mucho sobre en qué medida los seres

humanos son físicamente afectados por estos químicos. Algunos de los químicos que se utilizan en la producción de plástico pueden causar dermatitis en contacto con la piel. (DERRAIK, 2002)

2.2.7. Plásticos

Para entender lo que son los plásticos primero tenemos que conocer lo que son los polímeros. Un polímero es una macromolécula, es decir una molécula de gran tamaño formado por otras moléculas más sencillas y que se repiten constantemente para formar el polímero. (Seymour, R., & Carraher, C., 2002)

Ejemplo, el polietileno, que está formado por moléculas de etileno.

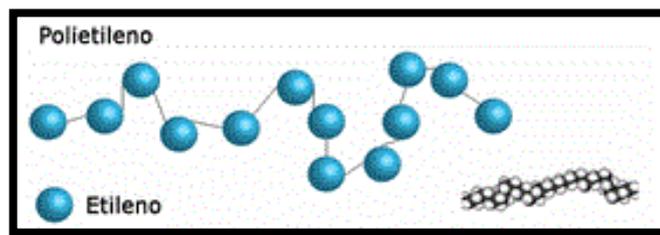


Figura 2: Polietileno

Fuente: areatecnología, 2018

Los plásticos son materiales orgánicos formados por polímeros constituidos por largas cadenas de átomos que contienen fundamentalmente carbono. Otros elementos que contienen los plásticos pueden ser oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre. (Cadena, F., & Quiroz, F, 2000)

Los plásticos dependiendo de su procedencia pueden ser:

Naturales: si se obtienen directamente de materias primas vegetales como por ejemplo la celulosa, que se encuentra en las células de las plantas, el Celofán que se obtiene disolviendo fibras de madera, algodón y cáñamo o el látex que se

obtiene del jugo de la corteza de un árbol tropical. (Seymour, R., & Carraher, C., 2002)

Sintéticos (artificiales): los que se elaboran a partir de compuestos derivados del petróleo, el gas natural o el carbón. La mayoría pertenece a este grupo.

En la actualidad, la mayoría de los plásticos que se comercializan provienen de la destilación del petróleo. La industria de plásticos utiliza el 6% del petróleo que pasa por las refinерías para convertirlo en plástico.

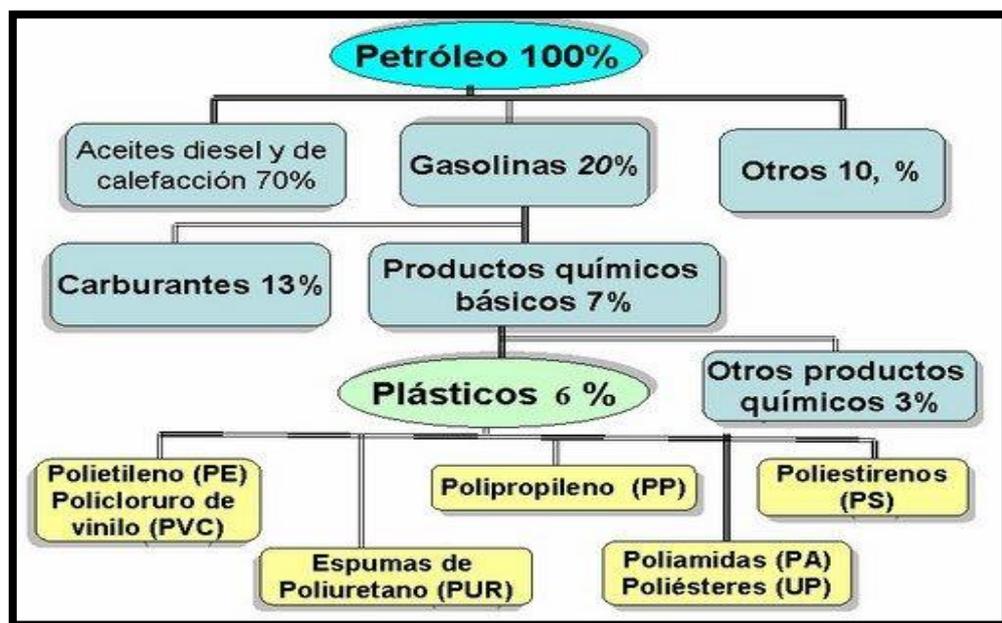


Figura 3: Derivados del petróleo

Fuente: areatecnología, 2018

2.2.8. Historia de los plásticos

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil (cuyas reservas se agotaban) para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó Celuloide. (Moreno, 2005)



El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico. (Moreno, 2005)

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termo fijo o termoestable: plásticos que puede ser fundidos y moldeados mientras están calientes, pero que no pueden ser ablandados por el calor y moldeados de nuevo una vez que han enfriado o secado. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. Debido a estas características se extendió rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron Polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el Polipropileno (PP). (Moreno, 2005)

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el Cloruro de Polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para la fabricación de tubos para cañerías, redes eléctricas y acueductos, también, en recubrimiento de cables para energía. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del



caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes, conocido como PVC blando. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como Teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes. (Moreno, 2005)

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el Poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos desechables. El Poliestireno Expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico y conocido como icopor. (Moreno, 2005)

También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el Nylon (nailon). Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Du Pont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico podían formar un polímero que bombeado a través de agujeros y estirados podían formar hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de panti medias para damas y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado bebidas gaseosas, agua y aceites comestibles en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del Tereftalato de Polietileno (PET), material que viene desplazando rápidamente al vidrio y al PVC en el mercado de envases. (Moreno, 2005)



2.2.9. Importancia y funciones

Los plásticos son uno de los productos de consumo más importantes y más utilizados en nuestra vida. Casi todo lo que utilizamos está hecho de plástico o contiene algo de plástico. Este material cambió por completo la vida del ser humano. Pero, un grave problema que tenemos es que consumimos muchísimo plástico. Casi todo va a parar a los basureros, contaminando el suelo. Se calcula que un plástico dura de 100 a 150 años en degradarse. (Acoplásticos, 2011)

¿Te has parado a pensar por qué utilizamos el plástico y no otro material menos contaminante?

Porque pesa poco, no se rompe, tiene baja densidad, son aislantes del calor y de la electricidad, tiene gran facilidad de conformación y su precio es económico. (Acoplásticos, 2011)

Unas de las muchas aplicaciones que tienen los plásticos son:

Construcción: La mayoría de los edificios públicos, nuestras viviendas, nuestros lugares de trabajo, hospitales, etc. tienen al plástico como elemento común. (Acoplásticos, 2011)

Transporte y Telecomunicaciones: La fabricación de aviones, barcos, trenes, motocicletas, globos, coches, bicicletas, teléfonos, antenas parabólicas, cámaras e incluso las nuevas redes de cable, se hace con plásticos. (Acoplásticos, 2011)

2.2.10. Componentes de los plásticos

Materia básica. Formada por los monómeros que entran en la reacción química, que se comercializan en forma de gránulos llamados granza.

Cargas. Se añaden con el fin de abaratar el producto y de mejorar sus propiedades físicas, químicas o mecánicas. (Donhowe, I. G., & Fennema., 1994)



Aditivos. Su objetivo es mejorar las cualidades del plástico. Catalizadores. Para iniciar y acelerar el proceso de la reacción química.

Aditivos: Con frecuencia se utilizan aditivos químicos para conseguir una propiedad determinada. Por ejemplo, los antioxidantes protegen el polímero de degradaciones químicas causadas por el oxígeno o el ozono. De una forma parecida, los estabilizadores lo protegen de la intemperie. Los plastificantes producen un polímero más flexible, los lubricantes reducen la fricción y los pigmentos colorean los plásticos. Algunas sustancias ignífugas y antiestáticas se utilizan también para mejorar sus características. (Kester, J. J., & Fennema, O. R., 1986)

Muchos plásticos se fabrican en forma de material compuesto, lo que implica la adición de algún material de refuerzo (normalmente fibras de vidrio o de carbono) a la matriz de la resina plástica. Los materiales compuestos tienen la resistencia y la estabilidad de los metales, pero por lo general son más ligeros. Las espumas plásticas, compuestas de plástico y gas, proporcionan una masa de gran tamaño pero muy ligera. (Kester, J. J., & Fennema, O. R., 1986)

2.2.11. Propiedades y características

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son estas:

fáciles de trabajar y moldear, tienen un bajo costo de producción, poseen baja densidad, suelen ser impermeables, buenos aislantes eléctricos, aceptables aislantes acústicos, buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas, resistentes a la corrosión y a muchos factores



químicos; algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar y, si se queman, son muy contaminantes. (Sperling, L., 2006)

2.2.12. Tipos de plásticos

Polietileno: Se le llama con las siglas PE y el número 2 y 4. Existen fundamentalmente tres tipos de polietileno:

- PE de Alta Densidad (número 2): Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Es un plástico incoloro, inodoro, no toxico, fuerte y resistente a golpes y productos químicos. Su temperatura de ablandamiento es de 120° C. Se utiliza para fabricar envases de distintos tipos de fontanería, tuberías flexibles, prendas textiles, contenedores de basura, papeles, envases para productos de aseo, etc... Todos ellos son productos de gran resistencia y no atacables por los agentes químicos. Se distingue por el número 2.
- PE de Mediana Densidad: Se emplea en la fabricación de tuberías subterráneas de gas natural los cuales son fáciles de identificar por su color amarillo.
- PE de Baja Densidad (número 4): Es un polímero con cadenas de moléculas menos ligadas y más dispersas. Es un plástico incoloro, inodoro, no toxico, más blando y flexible que el de alta densidad. Se ablanda a partir de los 85 °C. Por tanto se necesita menos energía para destruir sus cadenas, por otro lado es menos resistente. Aunque en sus más valiosas propiedades se encuentran un buen aislante. Lo podemos encontrar bajo las formas de transparentes y opaco. Se utiliza principalmente para bolsas, tuberías flexibles, aislantes para conductores eléctricos (enchufes, conmutadores), juguetes, etc, que requieren flexibilidad. (Moreno, 2005)



Polipropileno: Se conoce con las siglas PP y el número 5. Es un plástico muy duro y resistente. Es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada (150 °C). Es muy resistente a los golpes y bajas temperaturas aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. Se emplean en la fabricación de estuches, y tuberías para fluidos calientes, jeringuillas, carcasa de baterías de automóviles, electrodomésticos, muebles (sillas, mesas), juguetes, y envases. Otra de sus propiedades es la de formar hilos resistentes aptos para la fabricación de cuerdas, zunchos. (Moreno, 2005)

Poliestireno: Se designa con las siglas PS y el número 6. Es un plástico más frágil, que se puede colorear y tiene una buena resistencia mecánica, puesto que resiste muy bien los golpes. Sus formas de presentación más usuales son la laminar. Se usa para fabricar productos desechables (vasos, cubiertos, pocillos), componentes electrónicos y otros elementos que precisan una gran ligereza, muebles de jardín, mobiliario de terraza de bares, etc... La forma esponjosa también se llama PS expandido con el nombre POREXPAN o corcho blanco, que se utiliza para fabricar embalajes y envases de protección, así como en aislamientos térmicos y acústicos en paredes y techos. También se emplea en las instalaciones de calefacción. Se conoce comúnmente como Icopor. (Moreno, 2005)

Policloruro De Vinilo: Se designa con las siglas PVC y el número 3. El PVC es el material plástico más versátil, pues puede ser fabricado con muy diversas características, añadiéndole aditivos que se las proporcionen. Es muy estable, duradero y resistente, pudiéndose hacer menos rígido y más elástico si se le



añaden un aditivo más plastificante. Se ablanda y deforma a baja temperatura, teniendo una gran resistencia a los líquidos corrosivos, por lo que es utilizado para la construcción de depósitos y cañerías de desagüe. (Moreno, 2005)

El PVC en su presentación más rígida se emplea para fabricar tuberías de agua, tubos aislantes y de protección, revestimientos exteriores, ventanas, puertas y escaparates, conducciones y cajas de instalaciones eléctricas.

Los Acrílicos: En general se trata de polímeros en forma de gránulos preparados para ser sometidos a distintos procesos de fabricación. Uno de los más conocidos es el polimetacrilato de metilo. Suele denominarse también con la abreviatura PMMA. Tiene buenas características mecánicas y se puede pulir con facilidad. Por esta razón se utiliza para fabricar objetos de decoración. También se emplean como sustitutivo del vidrio para construir vitrinas, dada su resistencia a los golpes. En su presentación traslucida o transparente se usa para fabricar letreros, paneles luminosos y gafas protectoras. (Moreno, 2005)

Otras aplicaciones del metacrilato las encontramos en ventanas de avión, piezas de óptica, accesorios de baño, o muebles. También es muy práctico en la industria del automóvil. A partir del polvo plástico acrílico se fabrican aparatos sanitarios (bañeras, lavabos, fregaderos). Antiguamente se designaba comercialmente de plexiglás. Pero uno de los principales inconvenientes de este utilísimo es su elevado precio. (Moreno, 2005)

Las Poliamidas: Se designan con las siglas PA. La poliamida más conocida es el nylon. Puede presentarse de diferentes formas aunque los dos más conocidos son la rígida y la fibra. Es duro y resiste tanto al rozamiento y al desgaste como a los agentes químicos. En su presentación rígida se utiliza para fabricar piezas de transmisión de movimientos tales como ruedas de todo tipo,



tornillos, piezas de maquinaria, piezas de electrodomésticos, herramientas y utensilios caseros, etc...

En su presentación como fibra, debido a su capacidad para formar hilos, se utiliza este plástico en la industria textil y en la cordelería para fabricar medias, cuerdas, tejidos y otros elementos flexibles. (Moreno, 2005)

2.2.13. Usos más comunes

Aplicaciones en el sector industrial: piezas de motores, aparatos eléctricos y electrónicos, carrocerías, aislantes eléctricos, etc.

En construcción: tuberías, impermeabilizantes, espumas aislantes de poliestireno, etc.

Industrias de consumo y otras: envoltorios, juguetes, envoltorios de juguetes, maletas, artículos deportivos, fibras textiles, muebles, bolsas de basura, etc. (Seymour, R., & Carraher, C., 2002)

2.2.14. Banano y plátano

Banano: Es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático, probablemente de Malasia, China Meridional e Indonesia. Desde allí fue llevado a Madagascar en el siglo XV, y luego difundido en la costa oriental y central de África, aunque algunos lo sitúan en ese continente desde hace unos 8.000 años. En el siglo XV los portugueses lo encontraron en la costa occidental africana, en la región de Guinea, y lo llamaron guineo. Hacia 1516 el padre Tomás de Berlanga lo introdujo en la isla La Española, en el Caribe; probablemente lo llevó desde las islas Canarias, donde se cultiva desde 1450. El banano comestible resultó de una serie de mutaciones y cambios genéticos ocurridos a partir de especies silvestres de frutos pequeños y numerosas semillas. (DGPA, M., 2014)



Las variedades comerciales de origen triploide Gross Michel y Cavendish, originario de Burna, Tailandia, Malaya, Indonesia y Ceilán y el sudeste de Asia, respectivamente.

Plátano: Es una baya carnosa que se encuentra en racimos, posee una cáscara gruesa con aristas en la superficie, la cual lo protege, cuando madura es de color amarillo y las aristas tienden a desaparecer y queda casi lisa; el fruto tiene un tamaño promedio de 20 a 25 cm y un diámetro aproximado de 4 cm, es de sabor dulce cuando está maduro por lo que se come crudo, asado, frito, etc; cuando está verde, no es dulce y se come frito. (Moreira Carrión, K., 2013)

El plátano es una fruta a la que no se le permite madurar en el árbol (fruta climatérica), ya que de hacerlo, estaría sujeta a daños causados por insectos, roedores y otros animales; además, la cantidad de componentes se ven disminuidos por lo que la calidad de la fruta sería inferior que la madurada fuera de la planta.

Las etapas de desarrollo del plátano son determinadas por los cambios físicos y químicos perceptibles que éste sufre, y además se ven afectadas por el período de corta, almacenaje, transporte y tipo de venta del mismo. (Moreira Carrión, K., 2013)

Diferencias entre banano y plátano

Los plátanos son familiares de los bananos y su aspecto es similar. La gente poco familiarizada con estos productos confundiría fácilmente al plátano con un banano bastante grande. En cuanto a aspecto, esa diferencia de tamaño es básicamente la única, pero en cuanto a empleo y sabor, se pueden señalar algunas variaciones. La diferencia entre banano y plátano es bastante sutil, inclusive inexistente en los lugares de su producción, como ocurre en el Perú, donde se



conoce como plátano al fruto comercializado verde o maduro de cualquier variedad o genotipo comestible. (DGPA, M., 2014)

En realidad, la principal diferencia entre un banano y un plátano, es su contenido de humedad. El plátano contiene un promedio de 65% de humedad y el banano, 83%. Ya que la hidrólisis, el proceso por el cual los almidones se convierten en azúcares, actúa con mayor rapidez en las frutas con un mayor contenido de humedad, los almidones se convierten en azúcares más rápido en los bananos que en los plátanos. Muchos bananos de cocción tienen contenidos de humedad que se encuentran entre los plátanos y bananos de postre. Estas variedades pueden ser cocinadas cuando no están completamente maduras, pero también se maduran suficientemente para poder comer las frutas crudas. (DGPA, M., 2014)

- En comparación con los bananos, los plátanos son más largos.
- La cáscara de los plátanos es más gruesa que la de los bananos.
- Los bananos son más dulces y suaves que los plátanos.

Propiedades nutritivas

Destaca su contenido de hidratos de carbono, por lo que su valor calórico es elevado.

Los nutrientes más representativos del plátano y banano son el potasio, el magnesio, el ácido fólico y sustancias de acción astringente; sin despreciar su elevado aporte de fibra, del tipo fruto-oligosacáridos. (Landeta, K., 2009)

Estas últimas lo convierten en una fruta apropiada para quienes sufren de procesos diarreicos. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y

generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. (Landeta, K., 2009)

El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante. El ácido fólico interviene en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis material genético y la formación anticuerpos del sistema inmunológico. Contribuye a tratar o prevenir anemias y de espina bífida en el embarazo. (Landeta, K., 2009)

Tabla 1: Propiedades nutritivas del plátano y banano

Plátano		Banano	
Valor energético	96.4 kcal	Valor energético	110.5 kcal
Hidratos de carbono	22.5	Hidratos de carbono	26.2
Proteínas	1.7	Proteínas	1.2
Fibra	2.5	Fibra	2.3
Potasio	490 mg	Potasio	434 mg
Calcio	7.8 mg	Calcio	12.5 mg
Magnesio	38.5 mg	Magnesio	41.5 mg
Fósforo	59.1 mg	Fósforo	38.7 mg
Hierro	0.3 mg	Hierro	0.9 mg
Cobre	0.1 mg	Cobre	0.3 mg
Zinc	0.2 mg	Proteínas	0.3 mg
Manganeso	0.1 mg	Manganeso	0.7 mg
Potasio	490 mg	Potasio	434 mg
Vitamina C	17.5 mg	Vitamina C	18.7 mg

Fuente: Landeta, K., 2009

2.2.15. Cáscara de banano y plátano

La cáscara de banano maduro contiene aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca (Zúñiga, 1993). La fibra cruda



en la cáscara de banano maduro contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa. (Sibaja, 1994).

La cascara de banano verde tiene un contenido muy alto de taninos, que confieren un sabor astringente a la fruta y limitan su digestibilidad. Sin embargo, conforme avanza la maduración de la fruta los taninos se transforman y se pierde el sabor astringente. (Meseguer, 1983).

Las cáscaras de plátano cuentan con propiedades antioxidantes, vitaminas y minerales, que pueden ayudar a combatir diferentes problemas de salud y dolencias.

La cáscara del plátano es una fuente excelente de fibra dietética, esta fibra ayuda a aliviar el estreñimiento. También encontramos triptófano, un aminoácido que contribuye a tener un buen humor al promover la producción de serotonina.

2.2.16. Propiedades de la cáscara de banano y plátano

Alivia el estreñimiento y mejora el tránsito intestinal: La cáscara del plátano es una fuente excelente de fibra dietética, cuyo contenido es de hecho incluso mayor que la que encontramos en su carne o pulpa. Esta fibra, además de promover una buena digestión, también ayuda a aliviar el estreñimiento y mejorar el tránsito intestinal.

Reduce el colesterol de la sangre: Si te han diagnosticado de colesterol alto, la cáscara del plátano es útil para ayudarte a reducir sus niveles, sobre todo si comes plátano y su piel con regularidad. (Moreira Carrión, K., 2013)

Estabiliza la presión arterial: En caso de hipertensión arterial el plátano es una de las frutas más recomendadas por su contenido en potasio. En su cáscara



también lo encontramos, por lo que su consumo es útil para personas con presión arterial alta.

Te ayuda a estar de mejor humor: Al igual que su carne, en la cáscara del plátano o banana encontramos triptófano, un aminoácido que contribuye a tener un buen humor al promover la producción de serotonina. (Moreira Carrión, K., 2013)

Desde un punto de vista nutricional la cáscara de plátano destaca por su contenido en potasio, un mineral que ayuda a estabilizar la presión arterial, de ahí que los alimentos ricos en potasio sean siempre aconsejados en la dieta de una persona con hipertensión arterial. Aporta fibra dietética, un nutriente muy útil para ayudarnos a mejorar nuestro tránsito intestinal y ayudarnos a reducir y aliviar el estreñimiento en caso de padecerlo de forma ocasional, sobre todo cuando su consumo es regular y se mantiene dentro de una dieta variada y equilibrada. También es muy rica en triptófano, un aminoácido sobre el que ya te hemos hablado en otra ocasión y que al promover la producción de serotonina ayuda positivamente a la hora de sentirnos de mejor humor. (Moreira Carrión, K., 2013)

2.2.17. Usos de la cáscara de banano y plátano

- Obtención de celulosa.
- Depurador de aguas contaminadas con metales.
- Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y plátano.
- Remueven toxinas.
- Producción de energía a través de la fermentación de la cáscara del banano y plátano.
- Sacar brillo a los zapatos.



- Alimento de los criaderos de lombrices.
- Fertilizante para plantas.
- Blanquear los dientes.
- Mascarilla facial.
- Alivia las picaduras de mosquito u hormiga, una raspadura pequeña o sarpullido causado por hiedra.
- Sirve para atraer mariposas a tu jardín.
- Desprender las verrugas de la piel.
- Extraer una astilla de la piel.
- Conservar los alimentos (jugosidad de la carne).
- Compostaje. Son un excelente material para este fin.
- Haz vinagre con las cáscaras.
- Reducir el acné. (Moreira Carrión, K., 2013)

2.2.18. Polisacáridos

Los polisacáridos son la principal fuente de energía de los alimentos y constituyen los compuestos orgánicos más abundantes. Varían mucho en cuanto a su tamaño y la frecuencia de su presencia en el mundo natural (Koolman et al, 2004).

Los polisacáridos están formados por la unión de centenares de monosacáridos, unidos por enlaces “O-glucosídicos”. Entre los monómeros y disacáridos más familiares se encuentra la glucosa, fructosa, galactosa, ribosa, sacarosa, lactosa, y maltosa, los tres últimos resultan de la combinación de una unidad de glucosa más una unidad de fructosa, de una unidad de glucosa más una de galactosa y de dos unidades de glucosa respectivamente (Koolman, et al, 2004).



Los polisacáridos más importantes son: la celulosa y el almidón. La celulosa es un homoglucano lineal con residuos de glucosa unidos por enlaces $\beta 1 \rightarrow 4$, es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza. Casi la mitad de la biomasa total está formada por celulosa constituyendo más de una tercera parte de toda la materia vegetal.

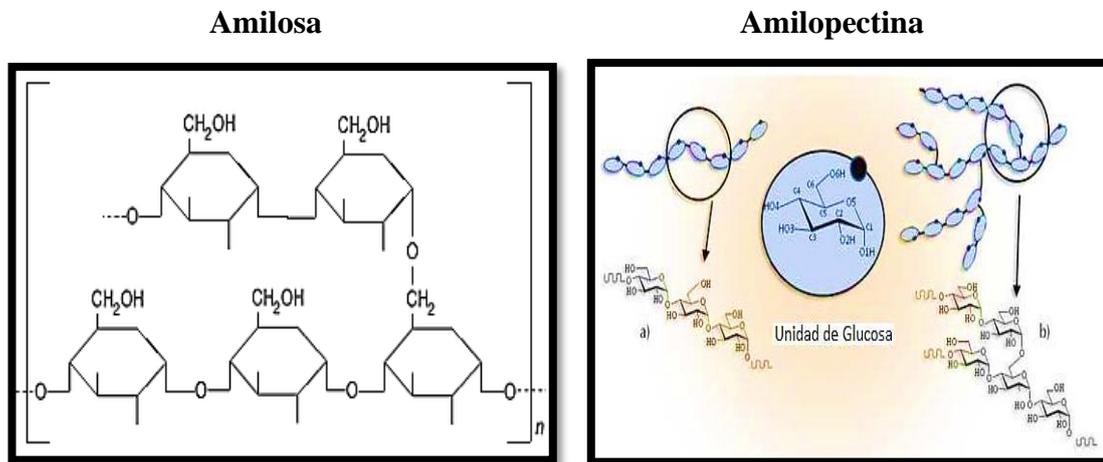
2.2.19. Almidón

Un polímero de almidón es un material termoplástico resultante del procesado del almidón natural por medios químicos, térmicos o mecánicos. Debido a su costo relativamente bajo, son atractivos como sustitutos de los plásticos basados en la petroquímica. Cuando son copolimerizados con otros polímeros pueden obtenerse copolímeros tan flexibles como el polietileno o tan rígidos como el poliestireno.

El almidón es el polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas. Está realmente formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina, constituidos por unidades de glucosa. En el caso de la amilosa las unidades de glucosa están unidas entre ellas por enlaces glucosídicos α -1-4 dando lugar a una cadena lineal con 200-2500 unidades de monómero. La amilosa tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la misma. (I. López, N., A. Ruiz, J., & Pettinari, M.; 2004)

En el caso de la amilopectina, aparecen ramificaciones debidas a enlaces α -1-6 localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Los almidones más comunes contienen alrededor del 25% de amilosa y 75% de amilopectina. Las

cadena de almidón se asocian mediante puentes de hidrógeno, formando una hélice doble, que se destruye por calentamiento con agua. (Koolman, J., & Röhm laus, H., 2004)



Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales particularmente de maíz, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de patata, batata y mandioca. El más utilizado para la producción de bioplásticos es el almidón de maíz. El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que se presenta en la naturaleza como complejas partículas discretas (gránulos). (Koolman, J., & Röhm laus, H., 2004)

2.2.20. Propiedades físicas y químicas del almidón

Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden contener agua al aumentar la temperatura, es decir los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización o gelificación. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce



normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan. (García Quiñónes, 2015)

Los diversos estados de gelatinización pueden ser determinados. Estos estados son: la temperatura de iniciación (primera observación de la pérdida de birrefringencia), la temperatura media, la temperatura final de la pérdida de birrefringencia (TFPB, es la temperatura a la cual el último gránulo en el campo de observación pierde su birrefringencia), y el intervalo de temperatura de gelatinización. Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos. (García Quiñónes, 2015)

Gelificación

La gelificación es la formación de un gel y no se produce hasta que se enfría el almidón gelatinizado (en otras palabras, la gelatinización debe preceder a la gelificación). Si la pasta de almidón se deja enfriar se forman enlaces de hidrogeno intermoleculares entre las moléculas de amilosa. (Charro Espinosa, 2015)

El efecto red da lugar a una red tridimensional continua de gránulos hinchados. Al igual que en cualquier otro tipo de gel, el agua queda atrapada en la red continua sólida. Los geles formados se hacen progresivamente más fuertes durante las primeras horas tras la preparación. Los almidones que contienen únicamente moléculas de amilopectina no forman geles a menos que la pasta este muy concentrada ($> 0 = a 30\%$). (Charro Espinosa, 2015)



Retrogradación

Se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; se puede efectuar por diversas rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema. Si se calienta una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente. (Fritz, H. G., Seidenstucker, T., & Bolz, U., 1994).

La retrogradación está directamente relacionada con el envejecimiento del pan, las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida, que requiere de una alta energía para que se rompan y el almidón gelatinice. Las moléculas de amilosa y amilopectina están dispersas en la solución acuosa (gelatinizada) de almidón. Después del enfriamiento, las porciones lineales de varias moléculas se colocan paralelamente debido a la formación de enlaces H. Esto obliga a las moléculas de agua a apartarse y a permitir que las moléculas cristalicen juntas. (Fritz, H. G., Seidenstucker, T., & Bolz, U., 1994).

Cuando se disuelve el almidón en agua, la estructura cristalina de las moléculas de amilosa y amilopectina se pierde y éstas se hidratan, formando un gel, es decir, se gelatiniza. Si se enfría este gel, e inclusive si se deja a temperatura ambiente por suficiente tiempo, las moléculas se reordenan, colocándose las cadenas lineales de forma paralela y formando puentes de hidrógeno. Cuando ocurre este reordenamiento, el agua retenida es expulsada



fuera de la red (proceso conocido como sinéresis), es decir, se separan la fase sólida (cristales de amilosa y de amilopectina) y la fase acuosa (agua líquida). El fenómeno de sinéresis puede observarse en la vida cotidiana en las cremas de pastelería, yogures, salsas y purés. (Charro Espinosa, 2015)

Sinéresis

Es la separación de las fases que componen una suspensión o mezcla. Es la extracción o expulsión de un líquido de un gel, por lo que el gel pasa de ser una sustancia homogénea a una segregación de componentes sólidos separados y contenidos en la fase líquida. Un fenómeno importante que presenta que presenta el almidón es la gelatinización, al echar granos de almidón en agua, se produce una dispersión ya que no es soluble, pero los granos son capaces de embeber agua, este fenómeno aumenta con la temperatura. Es un proceso irreversible. A una determinada temperatura el grano se rompe y aparece la gelatinización. (Ruíz, G., 2006)

Las modificaciones pueden hacerse por distintas técnicas:

Pregelatinización

El almidón pasa por unos rodillos calientes, aumentando la capacidad para embeber agua incluso en frío. (Ruíz, G., 2006)

Fluidificación

El almidón se trata con HCl diluido a 50 °C, disminuyendo la longitud de las cadenas de almidón; tiene la ventaja de que permite trabajar con mayor concentración de almidón para conseguir la misma viscosidad. (Ruíz, G., 2006)



Reticulación

Se pretende evitar que el gel de almidón cristalice, forma enlaces transversales entre las diferentes estructuras de almidón. De esta forma obtengo un almidón con propiedades gelificantes, espesantes, independientemente del tratamiento térmico. (Ruíz, G., 2006)

Estabilización

En el almidón natural los principales responsables de la cristalización son las cadenas ramificadas de la amilopectina. En este proceso se metilan; idóneo para salsas. (Ruíz, G., 2006)

2.2.21. Usos y aplicaciones del almidón del banano y plátano

Para su industrialización, la harina de plátano debe ser muy fina al tacto; para su almacenamiento y manejo se le adiciona más o menos uno por ciento de sustancias desecadoras, como carbonato de calcio. Esta harina puede ser utilizada entonces en la preparación de pudines, panes, helados, malteadas y otros productos. (Flores, G., García, S., Núñez, M., & González, R., 2004)

Almidón y derivados. El almidón es uno de los compuestos biológicos más importantes y un componente vital en la dieta de humanos y animales. Prácticamente, la energía para vivir se obtiene del almidón. Además de su importancia en la industria alimenticia, es importante en la industria textil y del papel, en la fabricación de adhesivos biodegradables (biopegamentos) y en la elaboración de biopelículas y bioplásticos para la fabricación de la recubierta de tabletas farmacéuticas y muchos productos más. (Flores, G., García, S., Núñez, M., & González, R., 2004)



Este polímero se obtiene de cereales, leguminosas y tubérculos, pero siendo el contenido de almidón del plátano equiparable a estas fuentes, los frutos que no son aptos para el consumo son una alternativa para este fin. La aplicación particular del almidón depende de sus propiedades físico-químicas: viscosidad, gelificación, esponjamiento y firmeza. Las variedades de plátanos y bananos contienen almidón con diferentes propiedades, por lo que sus usos pueden ser muy variados. Fibras. Estos materiales tienen también múltiples aplicaciones. Particularmente se utilizan para extraer la fibra para elaborar artesanías (sombreros, abanicos, zapatos, bolsos, carteras, sacos, etc.) o para la obtención de la celulosa para la fabricación de papel. Las fibras también se usan para reforzar materiales compuestos. Debido a su baja dureza, disminuyen el nivel de desgaste en los equipos y tienen propiedades de aislante térmico y acústico, y actualmente han atraído el interés por ser biodegradables, renovables y de bajo costo. (Flores, G., García, S., Núñez, M., & González, R., 2004)

2.2.22. Ventajas y desventajas del almidón de las cáscaras de banano y plátano para la elaboración de bioplástico

Ventajas:

- Disminuyen la contaminación del medio ambiente.
- Disminuyen la huella de carbono.
- No necesitan petróleo para su producción.
- Su producción necesita menos energía y genera menos emisiones.
- Se descomponen rápidamente.
- No generan residuos.



- Poseen propiedades que son similares a las de los plásticos derivados del petróleo.
- Llegan a ser degradados en su totalidad por las bacterias que los producen, y por otras bacterias, hongos y algas. (Flores, G., García, S., Núñez, M., & González, R., 2004)

Desventajas:

- El costo de producción y el precio suelen ser mayor que los plásticos derivados del petróleo.
- Sensible a degradación térmica.
- No son estables frente al agua. (Flores, G., García, S., Núñez, M., & González, R., 2004)

2.2.23. Biodegradación

Se define la biodegradación como la capacidad metabólica de los microorganismos para transformar o mineralizar contaminantes orgánicos en compuestos menos peligrosos, que puedan integrar en los ciclos biogeoquímicos naturales. Sin embargo, en la biodegradación natural de los contaminantes se debe dar una serie de factores y condiciones vitales para el crecimiento de la bacteria, como son la humedad, los nutrientes, el oxígeno, el pH o la temperatura. Así mismo en este proceso influye la composición, concentración y disponibilidad de los contaminantes, o las características físicas y químicas del lugar contaminado (Montras y Vicent, 2002).

La biodegradación de los bioplásticos empieza con un proceso llamado hidrolisis donde hay una ruptura de las cadenas poliméricas. Siendo esta la etapa que mayor tiempo conlleva para los desechables plásticos y de poliestireno



expandido, en los que llega a ser de cientos de años. Seguidamente se establece una destrucción de los enlaces como efecto de la luz, el estrés mecánico, la presencia de oxígeno, temperaturas mayores a 60°C, y la acción de bacterias aerobias. Si los bioplásticos desechables son enterrados (manejo en relleno sanitario) su degradación se lleva a cabo por medio de la acción enzimática de bacterias anaerobias. García Quiñones, A. V. (2015)

2.2.24. Evaluación de biodegradación

Los nuevos polímeros que ofrecen propiedades mejoradas relativas a la susceptibilidad de ataques microbianos han sido introducidos a los mercados internacionales. Esto necesita de una evaluación de la propensión de los materiales de ser degradados biológicamente. La prueba inicia con la muestra de los plásticos para estimar las propiedades de un lote y proveer material para evaluar un método de prueba. El muestreo es un medio utilizado para solucionar el problema de estimar la calidad de un lote a partir de la inspección de sólo una parte de él. (García Quiñones, A. V., 2015)

La Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Estándares (ISO) han desarrollado estándares para la prueba de biodegradabilidad en diferentes condiciones específicas. Muchos de estos métodos dan resultados similares, aunque generalmente se complementan uno a otro. Basados en la naturaleza de los plásticos y en las rutas disponibles para su disposición final en un país, ejemplos de algunos métodos utilizados para evaluar las propiedades biodegradables de plásticos se pueden consultar en la Tabla 2.

Tabla 2: Normas para la determinación de biodegradabilidad de plásticos

CÓDIGO	NOMBRE
ASTM G21-96	Determinar la resistencia de materiales poliméricos a hongos.
ASTM 5247	Determina la biodegradación anaeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5338 - 98	Determina la biodegradación aeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5988 - 96	Determina la biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o residuos plásticos después de composteo.
ASTM 6002 – 96	Especificación estándares para plásticos de composteo.
ASTM 6400 - 99	Evalúa la posibilidad de composteo de plásticos degradables ambientalmente.

Fuente: Mendoza Reatiga, 2009

2.2.25. Métodos para comprobar la degradación

El aspecto más importante es seleccionar el procedimiento apropiado basado en la naturaleza de los plásticos y las condiciones climáticas del país. Las propiedades biodegradables son evaluadas bajo las siguientes condiciones:

Método de cultivo puro

El método de cultivo puro utiliza bacterias u hongos específicos. El método de laboratorio determina el efecto de bacterias u hongos en las bolsas plásticas cuando los plásticos son conservados en las instalaciones del mismo bajo condiciones de temperatura y humedad favorables a dicho ataque. (CIT., 2008)

Método de composteo

El composteo es un proceso administrado que controla la descomposición biológica y la transformación de materiales biodegradables es una sustancia llamada composta. Por tratarse de actividad biológica, durante el proceso, se



produce elevación de temperatura, en ocasiones suficientemente alta como para causar ignición de los materiales. El tiempo de biodegradación es variable, dependiendo de los materiales que se utilicen y de la cantidad, a partir de unas pocas semanas o meses de un año. (CIT., 2008)

Degradación anaeróbica en presencia de lodos residuales.

El hecho de que en todos los ambientes donde los hidrocarburos naturales se forman el oxígeno no está presente, ha hecho pensar que los hidrocarburos no podrían ser degradados anaeróbicamente. (CIT., 2008)

Condiciones de relleno activas.

Los suelos con vegetación son ambientes activos, tienen una población bacterial de orden de 10^9 – 10^{11} organismos por gramo. Enterrar bolsas de plástico en dichos rellenos expone a los plásticos a una biodegradación e hidrólisis. Estos cambios pueden afectar la degradación así como el volumen de reducción. (CIT., 2008)

Solubles en agua

Son materiales que se solubilizan en presencia de agua, usualmente dentro de un rango específico de temperatura y luego se biodegradan mediante la acción de los microorganismos. Pueden ser de origen natural como los polisacáridos por ejemplo el almidón y la celulosa ó de origen sintético ó petroquímico como el alcohol polivinilico o copolímeros de acrilamida con derivados del ácido acrílico. (CIT., 2008)



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se emplearon dos métodos que van en concordancia a los objetivos planteados. En el presente trabajo de investigación se considera de tipo experimental por tener como objetivo de estudio la manipulación de variables experimentales bajo condiciones controladas y además de poseer un carácter exploratorio pues se realiza con el propósito de obtener datos fieles y seguros para que sirvan de base en estudios futuros.

La recopilación de información bibliográfica se obtuvo de tesis, artículos, textos científicos y otros.

3.1.1. **Ámbito del estudio**

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el megalaboratorio y medio ambiente de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Que está a 3814 m.s.n.m. y a una temperatura de 13°C.

3.1.1.1. **Ubicación:**

Provincia : Puno

Departamento : Puno

Dirección : Av. Sesquicentenario N° 1150 - Puno

3.1.1.2. **Ubicación geográfica:**

Latitud : 15°49'29.25'' del Meridiano de Greenwich.

Longitud : 70°0'56.11'' de la línea ecuatorial

Altitud : 3810 m.s.n.m.

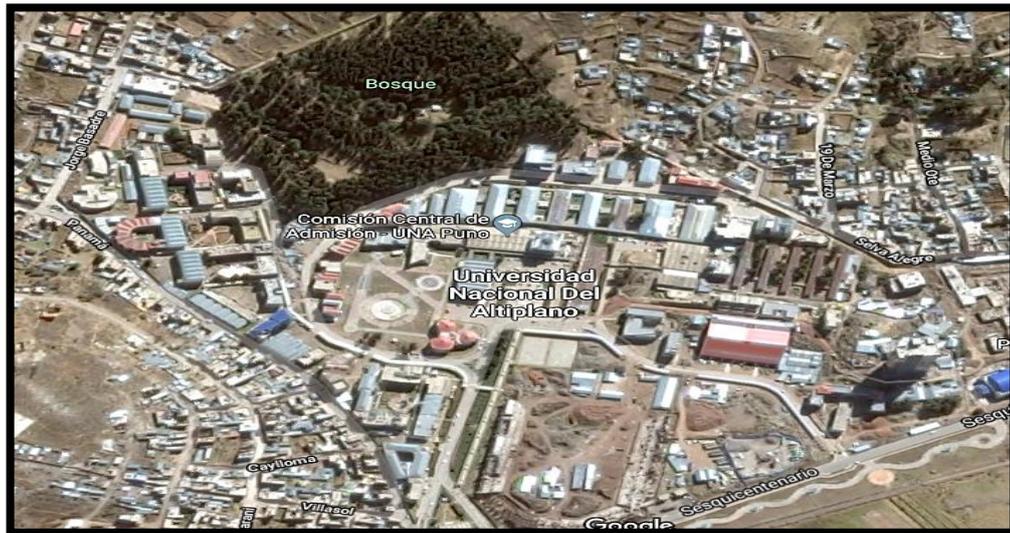


Figura 5: Ubicación geográfica UNA-Puno

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Universidad+Nacional+Del+Altiplano>

3.1.2. Materiales y reactivos

Materiales

- ❖ Balanza analítica
- ❖ Vaso de precipitados
- ❖ Termómetro
- ❖ Cocinilla
- ❖ Estufa
- ❖ Tamiz
- ❖ Herramienta de corte
- ❖ Mortero
- ❖ Capsulas de porcelana
- ❖ Moldes
- ❖ Licuadora
- ❖ Probeta

Reactivos

- ❖ Agua destilada
- ❖ Ácido clorhídrico
- ❖ Hidróxido de sodio
- ❖ Glicerol
- ❖ Glicerina
- ❖ Vinagre
- ❖ Metabisulfito de sodio



Materia prima

Se inició con la recolección de las cáscaras de banano y plátano esto se obtuvo de los mercados (Bellavista, Unión y dignidad) de nuestra ciudad de Puno y en mi hogar.

El almidón que se obtendrá de las cáscaras de banano y plátano es el componente principal para la elaboración de bioplástico. Se utilizará este material para realizar las distintas pruebas, lo cual es un aporte frente a otras investigaciones en las que se obtiene el biopolímero a partir de almidón puro nativo o modificado químicamente.

3.1.3. Método experimental

Primer método

Para este primer método se utilizó una cantidad aproximada de 100g de cáscara de banano y plátano, luego pasaremos a eliminar los contaminantes presentes iniciamos con el lavado de las cáscaras con agua caliente por 5 minutos, posteriormente se llevó a secado a 45°C por una semana hasta obtener peso constante, seguido de la trituración que redujo las cáscaras a partículas de tamaño de 2 mm aproximadamente y finalmente se empleó la técnica de cuarteo (SECOFI, 1985) hasta obtener una muestra necesaria. A partir de esa muestra, se procedió a calentarla en un vaso precipitado de 500 mL con agua destilada, hasta alcanzar el punto de ebullición. Posteriormente se extrajo la biomasa de la solución calentada y se mezcló en una licuadora hasta lograr una masa, la cual se colocó en la estufa a una temperatura de 45°C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo, se trituro la masa seca hasta obtenerla en forma de polvo. De este polvo se tomó 50g los cuales se mezclaron con 50 mL de vinagre, 50 mL de glicerina y 50 mL de agua destilada; estos ingredientes serán sometidos a calentamiento y se mezclaron eventualmente durante el proceso, hasta alcanzar una temperatura inferior a 60°C.

Diagrama de flujo elaboración de bioplástico de cáscara de banana

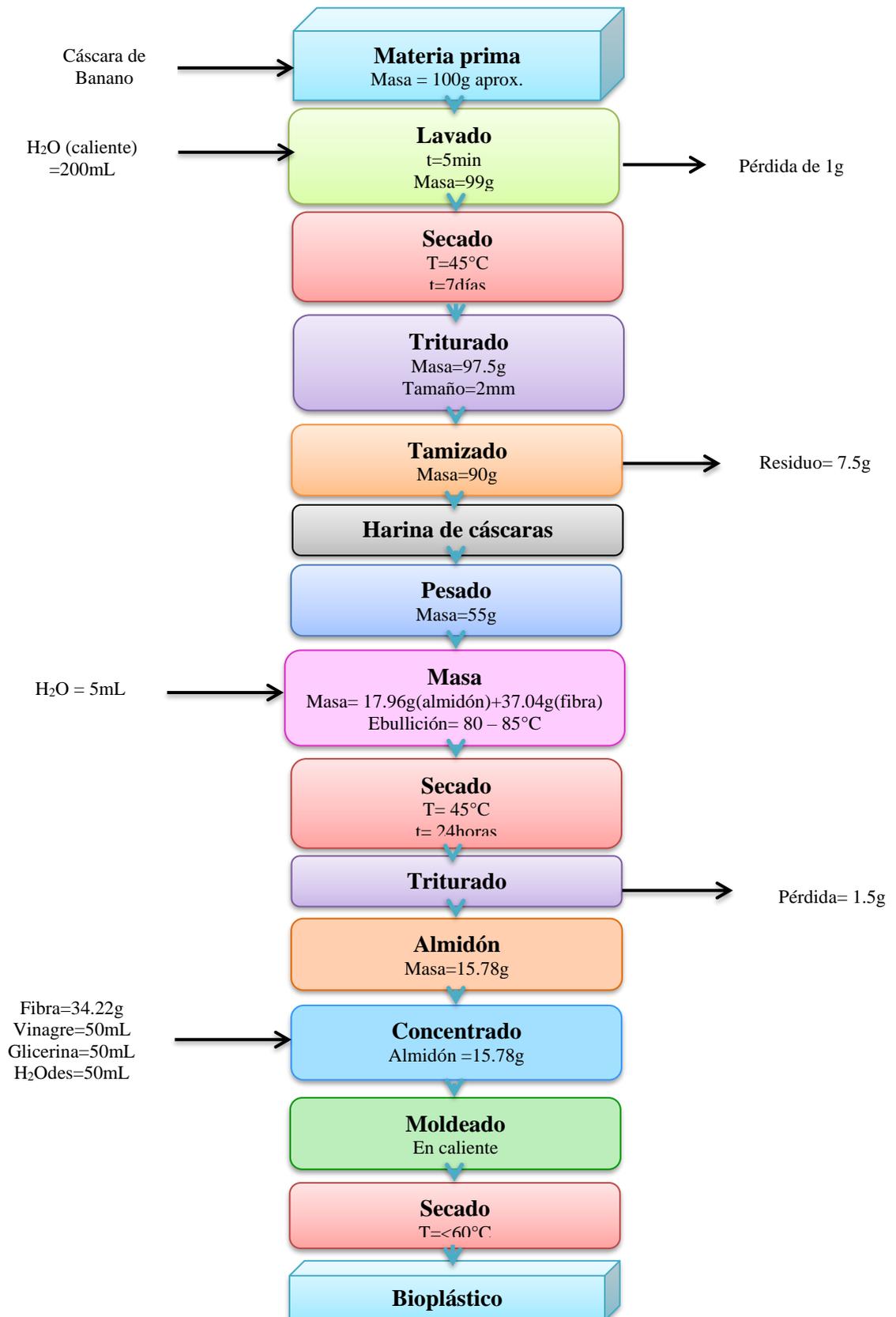
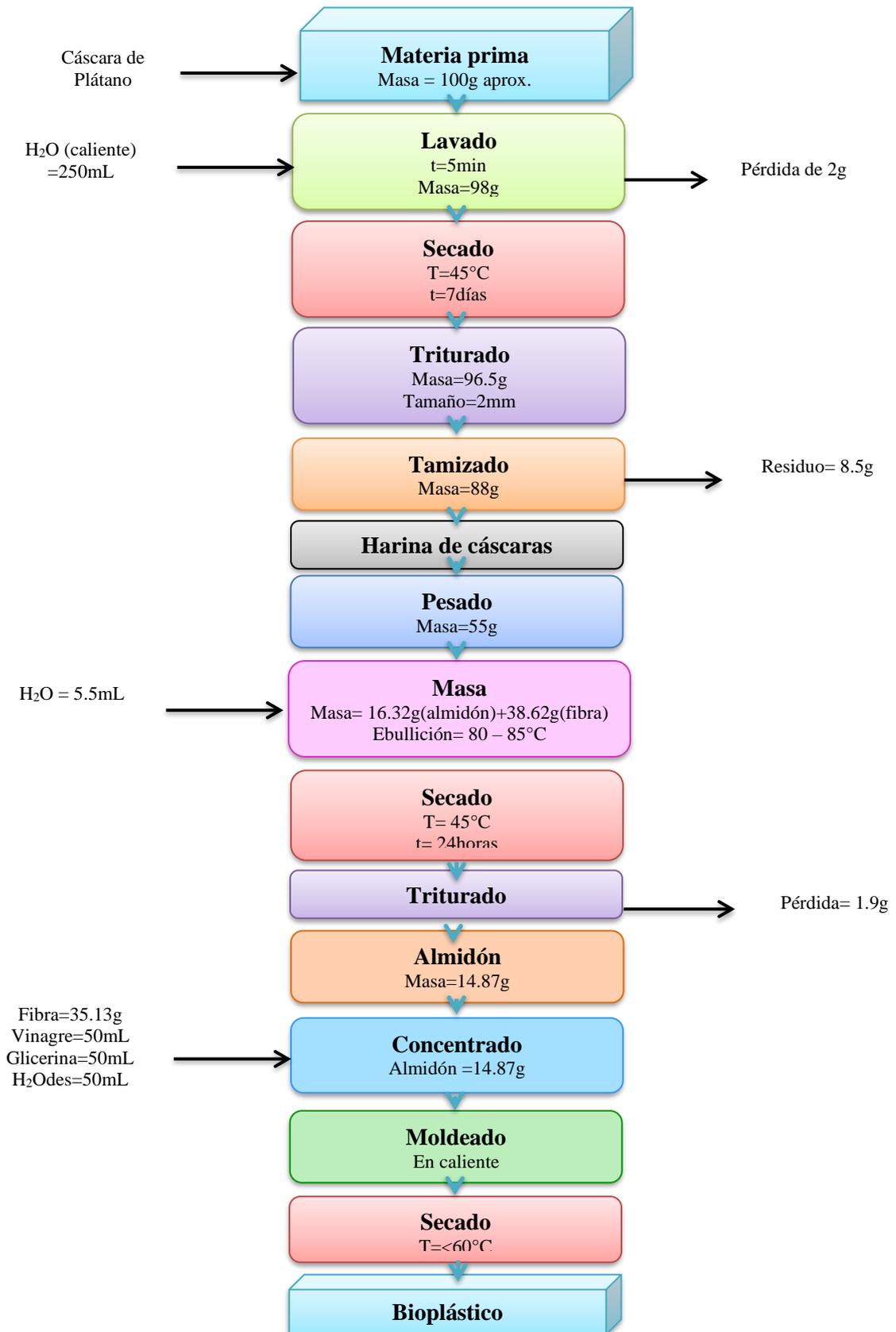


Diagrama elaboración de bioplástico de cáscara de plátano de flujo





Segundo método

En este método se empleó una cantidad aproximada de 70,04g de cáscara de banano y plátano, los cuales se depositaron y se mezclaron en un vaso precipitado de 800 mL con 400 mL de agua destilada y 2,0481g de metabisulfito de sodio durante media hora en ebullición, para evitar el pardeamiento enzimático.

Posteriormente se sacaron las cáscaras y se secaron con gasa por otros 30 minutos, para luego hacer una pasta con ellas en una licuadora. De esta pasta acuosa se tomaran 25 mg aproximadamente y se mezclaron con 3 mL de HCl 0,1 M, 2 mL de glicerol y 3 mL de NaOH 0,1M. Una vez mezclados todos los ingredientes se depositó la pasta en una cápsula de porcelana y se introdujo en la estufa a 103°C por 30 minutos, obteniéndose exitosamente el bioplástico.

Diagrama de flujo elaboración de bioplástico de cáscara de banano

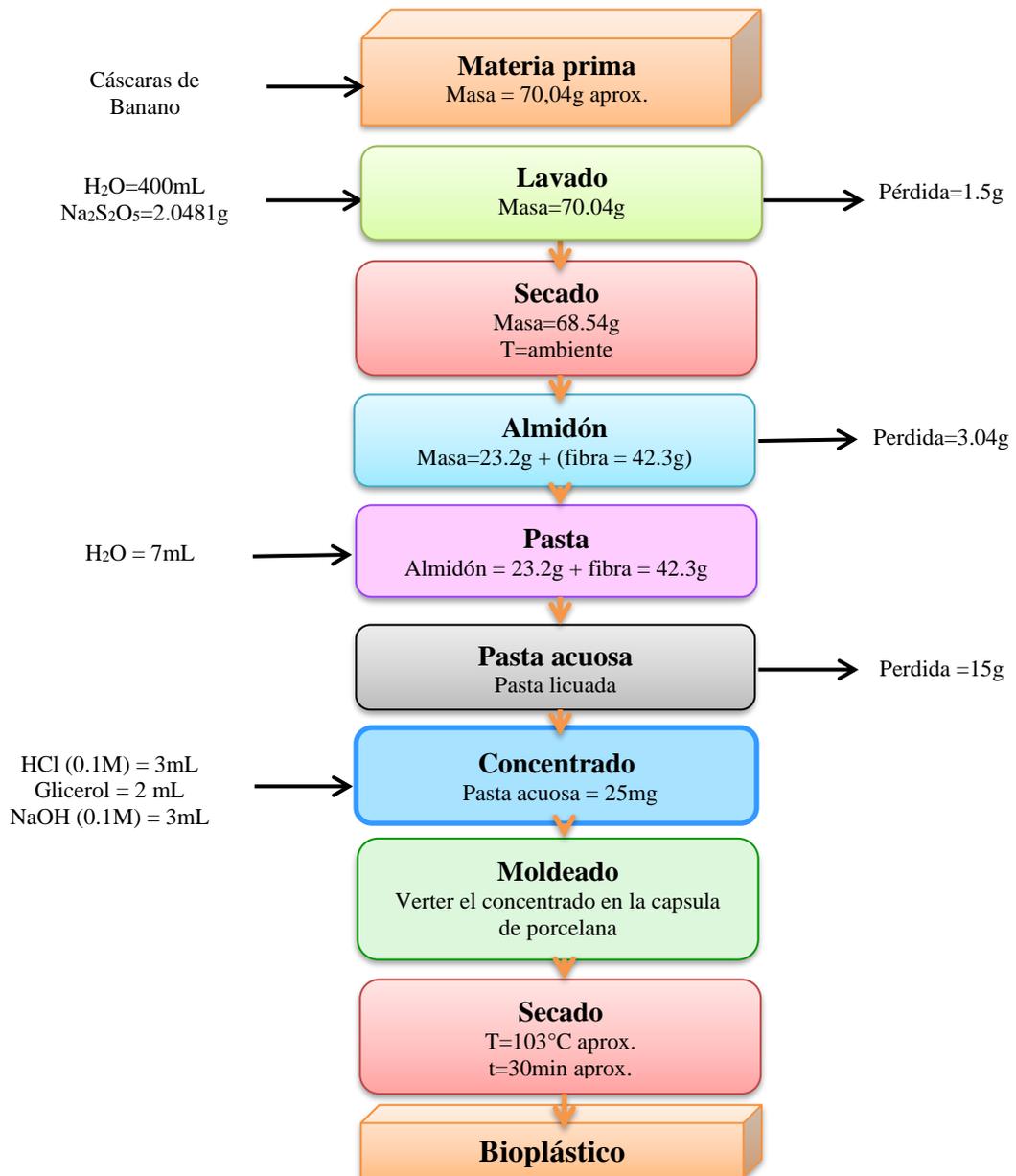
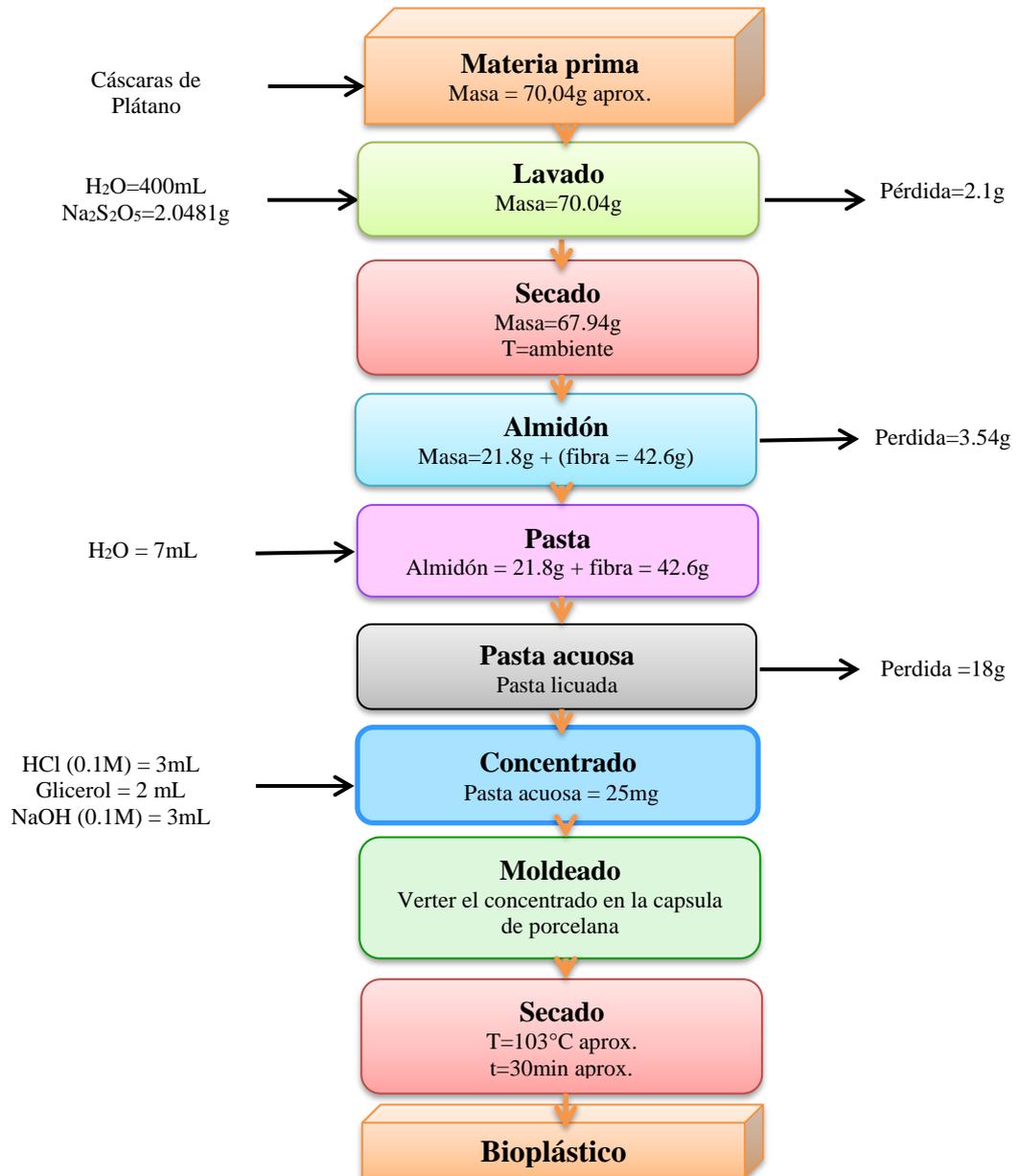


Diagrama de flujo elaboración de bioplástico de cáscara de plátano





3.1.4. Determinación de pruebas fisicoquímicas preliminares

Dureza: Cortar piezas 2x2cm de cada muestra del bioplástico de la cáscara de plátano y banano para someterlas a penetración por parte del punzón del durómetro hasta que la muestra ceda o las fibras exteriores se fragmenten. Apuntar la lectura que marca el durómetro.

Elongación: Colocar la muestra bioplástico de la cáscara de plátano y banano en un soporte luego colocar varias pesas a las muestras y medir la longitud que se desplazó la muestra con cada pesa y calcular el % de elongación con la siguiente fórmula:

$$\%Elongación = \left(\frac{\text{longitud final} - \text{longitud inicial}}{\text{longitud inicial}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Flexión: Colocar la muestra bioplástico de la cáscara de plátano y banano en dos soportes separados entre sí. Colocar varias pesas en el centro de la muestra hasta que las fibras exteriores se fragmenten o se rompan, medir que distancia se desplazó la muestra con cada pesa.

Degradabilidad por agua

Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes apropiados, llenar los recipientes con agua hasta superar la superficie de las muestras. Tapar los recipientes y dejar en reposo absoluto (sin moverse) por 40 días, después de transcurrido este tiempo pesar las muestras con una balanza analítica y obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la siguiente fórmula:

$$\%Degradabilidad = 100 - \left[\left(\frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \right) * 100 \right] \quad \text{Ec.2}$$

3.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se describen las técnicas, instalaciones y procedimientos experimentales empleados durante la realización de esta tesis, desde la recolección de la cáscara de banano y plátano hasta la obtención del bioplásticos, seguidamente se procedió con las pruebas fisicoquímicas.

3.2.1. Desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística

Variables independientes (VI)

- ✓ Cáscara de banano y plátano

Variables dependientes (VD)

- ✓ Bioplástico

Operacionalización de variables

Tabla 3: Operacionalización de variables

Definición nominal	Indicadores	Índices
Variable independiente	Temperatura	°C
Causa: Cáscaras de banano y plátano	Masa	mg
	Tiempo	min
Variable dependiente	Dureza	N
Efecto: Bioplástico	Flexión	cm
	Elongación	%
	Degradabilidad	días
Variable interviniente	Presión	PSI

Fuente: Elaboración propia.



Análisis estadístico

Se empleó el diseño factorial 2^k de experimentos es una técnica estadística que permite planificar la experimentación de modo que con un número mínimo de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, que constituye la base para el proceso en donde se evaluará la temperatura, la masa y el tiempo además de las pruebas mecánicas como dureza, flexión, elongación y degradabilidad.

Diseño factorial de experimentos

$$N = 2^k$$

Dónde:

N: Número de experimentos.

K: Número de variables.

Se tomó 3 variables que son la temperatura, la masa y el tiempo que son las variables que más intervienen en el proceso de obtención del bioplástico.

Para lo cual el desarrollo del modelo matemático que se empleó en el diseño de experimentos de tipo factorial, es el siguiente:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

Dónde:

$$X_1 = T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$X_2 = M \text{ (mg)}$$

$$X_3 = t \text{ (min)}$$

Y = variables respuesta o rendimiento del diseño experimental

X_1, X_2, X_3 = variables codificadas independientes

X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3 = son interacciones entre las tres variables principales

b_0 , b_1 , b_2 , b_3 = son estimadores de los coeficientes de regresión.

Identificación de presentación den las variables y niveles de operación

En el presente trabajo de investigación se ha efectuado la optimización eficaz del proceso, encontrando los rangos de trabajo más óptimos de dicho proceso, se trabajó en función a los factores y niveles establecidos anteriormente, los resultados se obtuvieron de los resultados más resaltantes de las pruebas realizadas al bioplástico obtenido como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4: Identificación de variables y niveles de operación

Factor	Unidad	Nivel Inferior (-)	Nivel Superior (+)	Puntos Centrales
T	°C	150	185	168
M	mg	25	30	28
t	min	50	80	65

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Matriz de diseño

Se determina el número de pruebas experimentales que se van a realizar (combinando los valores máximos y mínimos de los 3 factores), para un diseño 2^3 se tiene 8 pruebas experimentales, además de acuerdo al principio de adición de puntos centrales (que proporción de protección contra el efecto de curvatura y permite una estimación independiente del error que ha de obtener).



Tabla 5: Matriz de diseño factorial $2^3=8$

N° DE PRUEBAS	DISEÑO	COMBINACIÓN DE NIVELES			Y (%RENDIMIENTO)
		X1	X2	X3	
1	[1]	120	24	50	13.653
2	a	185	24	50	13.858
3	b	120	30	50	14.551
4	ab	185	30	50	14.953
5	c	120	24	80	15.759
6	ac	185	24	80	16.257
7	bc	120	30	80	16.355
8	abc	185	30	80	16.709

Fuente: Elaboración propia.

Si agregamos una variable ficticia $X_0 = 1$, en la que todos sus elementos son “+1”, resulta el siguiente tabla:

Tabla 6: Codificación de variables

N° DE PRUEBAS	DISEÑO	COMBINACIÓN DE NIVELES				Y
		X0	X1	X2	X3	
1	[1]	+1	-1	-1	-1	Y1
2	a	+1	+1	-1	-1	Y2
3	b	+1	-1	+1	-1	Y3
4	ab	+1	+1	+1	-1	Y4
5	c	+1	-1	-1	+1	Y5
6	ac	+1	+1	-1	+1	Y6
7	bc	+1	-1	+1	+1	Y7
8	abc	+1	+1	+1	+1	Y8

Fuente: Elaboración propia.

En el diseño se cumple la condición de réplica del punto central del diseño en tanto la sumatoria de sus vectores X_1 y X_2 , de su producto es cero.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo de la matriz de diseño incluyendo los tres puntos centrales; el diseño puede expresarse de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 7: Corridas experimentales para el diseño factorial con tres replicas en el punto central

N° DE PRUEBAS	COMBINACIÓN DE NIVELES						Y
	X1	X2	X3	X3	X3	%RENDIMIENTO	
1	-	120	-	24	-	50	13.653
2	+	185	-	24	-	50	13.858
3	-	120	+	30	-	50	14.551
4	+	185	+	30	-	50	14.953
5	-	120	-	24	+	80	15.759
6	+	185	-	24	+	80	16.257
7	-	120	+	30	+	80	16.355
8	+	185	+	30	+	80	16.709

Fuente: Elaboración propia.

La tabla nos indica que nuestro diseño experimental tuvo 8 pruebas experimentales, obteniendo un rendimiento o resultado en porcentaje que varían desde 13.653% hasta un rendimiento mayor de 16.709% en las 8 pruebas para la obtención de la dureza, elongación y flexión.

Evaluación de resultados

Del procedimiento de análisis factorial, se procede con el coeficiente de las tablas (8, 9, 10, 11, 12, 13):



Tabla 8: Coeficiente de regresión dureza del bioplástico de la cáscara del plátano

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	4.4451
A:TEMPERATURA	-0.00507308
B:MASA	0.230042
C:TIEMPO	0.0601083

Fuente: elaboración propia

Tabla 9: Coeficiente de regresión dureza del bioplástico de la cáscara del banano

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	6.61645
A:TEMPERATURA	0.00561154
B:MASA	0.126708
C:TIEMPO	0.0672083

Fuente: elaboración propia

Tabla 10: Coeficiente de regresión elongación del bioplástico de la cáscara del plátano

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-1.71886
A:TEMPERATURA	0.0159808
B:MASA	0.431125
C:TIEMPO	0.113708

Fuente: elaboración propia

Tabla 11: Coeficiente de regresión elongación del bioplástico de la cáscara del banano

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	1.82801
A:TEMPERATURA	0.00468462
B:MASA	0.424167
C:TIEMPO	0.0948167

Fuente: elaboración propia

Tabla 12: Coeficiente de regresión flexión del bioplástico de la cáscara del plátano

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-0.959032
A:TEMPERATURA	0.00358846
B:MASA	0.0427083
C:TIEMPO	0.0140083

Fuente: elaboración propia

Tabla 13: Coeficiente de regresión flexión del bioplástico de la cáscara del banano

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-0.960308
A:TEMPERATURA	-0.000580769
B:MASA	0.0642917
C:TIEMPO	0.017125

Fuente: elaboración propia

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

Tabla 14: Ecuación del modelo ajustado para el bioplástico de cáscara del plátano

INDICADORES	ECUACIÓN DE MODELO AJUSTADO
DUREZA	$Y = 4.4451 - 0.00507308*TEMPERATURA + 0.230042*MASA + 0.0601083*TIEMPO$
ELONGACIÓN	$Y = -1.71886 + 0.0159808*TEMPERATURA + 0.431125*MASA + 0.113708*TIEMPO$
FLEXIÓN	$Y = -0.959032 + 0.00358846*TEMPERATURA + 0.0427083*MASA + 0.0140083*TIEMPO$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Ecuación del modelo ajustado para el bioplástico de cáscara del banano

INDICADORES	ECUACIÓN DE MODELO AJUSTADO
DUREZA	$Y = 6.61645 + 0.00561154*TEMPERATURA + 0.126708*MASA + 0.0672083*TIEMPO$
ELONGACIÓN	$Y = 1.82801 + 0.00468462*TEMPERATURA + 0.424167*MASA + 0.0948167*TIEMPO$
FLEXIÓN	$Y = -0.960308 - 0.000580769*TEMPERATURA + 0.0642917*MASA + 0.017125*TIEMPO$

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que statygraphics evalué esta función, seleccioné predicciones de la lista de opciones tabulares. Para graficar la función, se selecciona las gráficas de respuesta de la lista de opciones gráficas.

Efectos estimados para rendimiento (Y)

Tabla 16: Análisis del experimento – Rendimiento (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	13.7896	0.0875451	
A:TEMPERATURA	-0.32975	0.17509	1.0
B:MASA	1.38025	0.17509	1.0
C:TIEMPO	1.80325	0.17509	1.0

Fuente: elaboración propia

Tabla 17: Análisis del experimento – Rendimiento (dureza del bioplástico de cáscara del banano)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	15.2619	0.0647151	
A:TEMPERATURA	0.36475	0.12943	1.0
B:MASA	0.76025	0.12943	1.0
C:TIEMPO	2.01625	0.12943	1.0

Fuente: elaboración propia

Tabla 18: Análisis del experimento – Rendimiento (elongación del bioplástico de cáscara del plátano)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	19.7496	0.808044	
A:TEMPERATURA	1.03875	1.61609	1.0
B:MASA	2.58675	1.61609	1.0
C:TIEMPO	3.41125	1.61609	1.0

Fuente: elaboración propia

Tabla 19: Análisis del experimento – Rendimiento (elongación del bioplástico de cáscara del banano)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	20.158	0.883562	
A:TEMPERATURA	0.3045	1.76712	1.0
B:MASA	2.545	1.76712	1.0
C:TIEMPO	2.8445	1.76712	1.0

Fuente: elaboración propia

Tabla 20: Análisis del experimento – Rendimiento (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	1.65188	0.0863925	
A:TEMPERATURA	0.23325	0.172785	1.0
B:MASA	0.25625	0.172785	1.0
C:TIEMPO	0.42025	0.172785	1.0

Fuente: elaboración propia

Tabla 21: Análisis del experimento – Rendimiento (flexión del bioplástico de cáscara del banano)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	1.80013	0.0898802	
A:TEMPERATURA	-0.03775	0.17976	1.0
B:MASA	0.38575	0.17976	1.0
C:TIEMPO	0.51375	0.17976	1.0

Fuente: elaboración propia

Errores estándar basados en el error total con 4 g.l. (grados de libertad).

Estas tablas muestran las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También muestran el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Esta tabla muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones.

Tabla 22: Análisis de la varianza Y (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.21747	1	0.21747	3.55	0.1328
B:MASA	3.81018	1	3.81018	62.14	0.0014
C:TIEMPO	6.50342	1	6.50342	106.07	0.0005
Error total	0.245252	4	0.0613131		
Total (corr.)	10.7763	7			

Fuente: elaboración propia

R-cuadrada = 97.7242 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.0173 por ciento

Error estándar del est. = 0.247615

Error absoluto medio = 0.152375

Estadístico Durbin-Watson = 2.6364 (P=0.7932)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.413209

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97.7242% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96.0173%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.247615. El error medio absoluto (MAE) de 0.152375 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



Tabla 23: Análisis de la varianza Y (dureza del bioplástico de cáscara del banano)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.266085	1	0.266085	7.94	0.0479
B:MASA	1.15596	1	1.15596	34.50	0.0042
C:TIEMPO	8.13053	1	8.13053	242.67	0.0001
Error total	0.134017	4	0.0335044		
Total (corr.)	9.68659	7			

Fuente: elaboración propia

R-cuadrada = 98.6165 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.5788 por ciento

Error estándar del est. = 0.183042

Error absoluto medio = 0.118125

Estadístico Durbin-Watson = 1.70917 (P=0.2511)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0830521

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.6165% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.5788%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.183042. El error medio absoluto (MAE) de 0.118125 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Tabla 24: Análisis de la varianza Y (elongación del bioplástico de cáscara del plátano)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATUR A	2.158	1	2.158	0.41	0.5554
B:MASA	13.3826	1	13.3826	2.56	0.1847
C:TIEMPO	23.2733	1	23.2733	4.46	0.1024
Error total	20.8939	4	5.22348		
Total (corr.)	59.7077	7			

Fuente: elaboración propia

R-cuadrada = 65.0063 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 38.7611 porciento

Error estándar del est. = 2.28549

Error absoluto medio = 1.59363

Estadístico Durbin-Watson = 1.20688 (P=0.0647)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.294364

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 65.0063% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 38.7611%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.28549. El error medio absoluto (MAE) de 1.59363 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



Tabla 25: Análisis de la varianza Y (elongación del bioplástico de cáscara del banano)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.18544	1	0.18544	0.03	0.8716
B:MASA	12.954	1	12.954	2.07	0.2232
C:TIEMPO	16.1824	1	16.1824	2.59	0.1828
Error total	24.9818	4	6.24545		
Total (corr.)	54.3036	7			

Fuente: elaboración propia

R-cuadrada = 53.9961 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 19.4932 porciento

Error estándar del est. = 2.49909

Error absoluto medio = 1.74875

Estadístico Durbin-Watson = 1.05792 (P=0.0365)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.352542

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 53.9961% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 19.4932%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.49909. El error medio absoluto (MAE) de 1.74875 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Debido a que el valor-P es menor que 5.0%, hay una indicación de posible correlación serial al nivel de significancia del 5.0%.

Tabla 26: Análisis de la varianza Y (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.108811	1	0.108811	1.82	0.2484
B:MASA	0.131328	1	0.131328	2.20	0.2122
C:TIEMPO	0.35322	1	0.35322	5.92	0.0718
Error total	0.238837	4	0.0597094		
Total (corr.)	0.832197	7			

Fuente: elaboración propia

R-cuadrada = 71.3004 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 49.7756 por ciento

Error estándar del est. = 0.244355

Error absoluto medio = 0.159625

Estadístico Durbin-Watson = 0.770178 (P=0.0084)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.443953

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 71.3004% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 49.7756%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.244355. El error medio absoluto (MAE) de 0.159625 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Debido a que el valor-P es menor que 5.0%, hay una indicación de posible correlación serial al nivel de significancia del 5.0%.

Tabla 27: Análisis de la varianza Y (flexión del bioplástico de cáscara del banano)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.00285013	1	0.00285013	0.04	0.8439
B:MASA	0.297606	1	0.297606	4.60	0.0984
C:TIEMPO	0.527878	1	0.527878	8.17	0.0460
Error total	0.25851	4	0.0646276		
Total (corr.)	1.08684	7			

Fuente: elaboración propia

R-cuadrada = 76.2146 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 58.3755 por ciento

Error estándar del est. = 0.25422

Error absoluto medio = 0.140562

Estadístico Durbin-Watson = 1.53827 (P=0.1715)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.226847

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 76.2146% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 58.3755%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.25422. El error medio absoluto (MAE) de 0.140562 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Interpretación de los efectos:

Si visualizamos el factor temperatura, peso y tiempo, notamos que:

Optimizar respuesta

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 15.5463

Tabla 28: Efectos del proceso de la dureza del bioplástico de cáscara del plátano

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
TEMPERATURA	120.0	185.0	120.0
MASA	24.0	30.0	30.0
TIEMPO	50.0	80.0	80.0

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevó a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

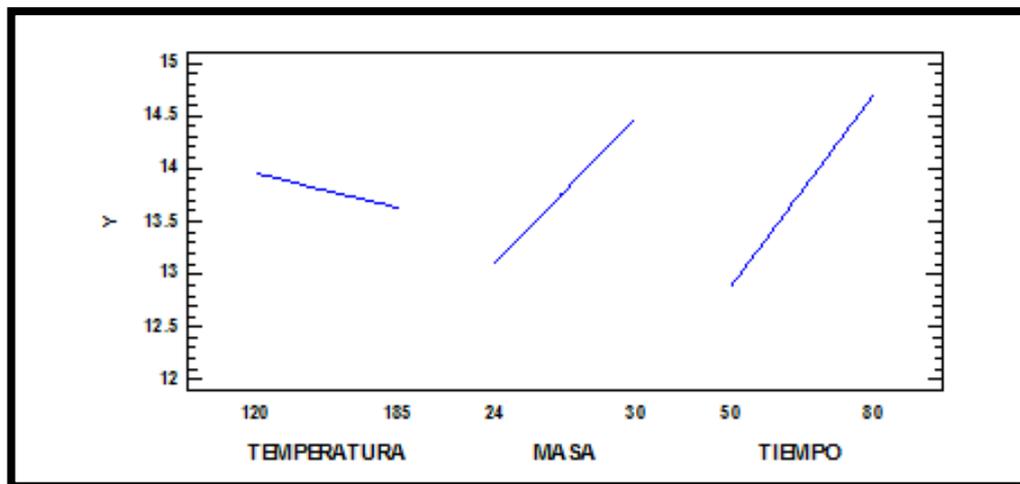


Figura 6: Efectos principales Y (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)

La figura 6 nos indica que el tiempo tiene mayor influencia que la masa y la temperatura en el rendimiento para la dureza del bioplástico de cáscara del plátano. La pendiente muestra un efecto positivo en el tiempo y la masa sobre el rendimiento, que produce un aumento sobre el rendimiento con el incremento del tiempo y la masa; sin

embargo la pendiente muestra un efecto negativo en la temperatura sobre el rendimiento, lo que produce una disminución del rendimiento con el aumento de la temperatura.

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 16.8325

Tabla 29: Efectos del proceso de la dureza del bioplástico de cáscara del banano

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
TEMPERATURA	120.0	185.0	185.0
MASA	24.0	30.0	30.0
TIEMPO	50.0	80.0	80.0

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevó a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

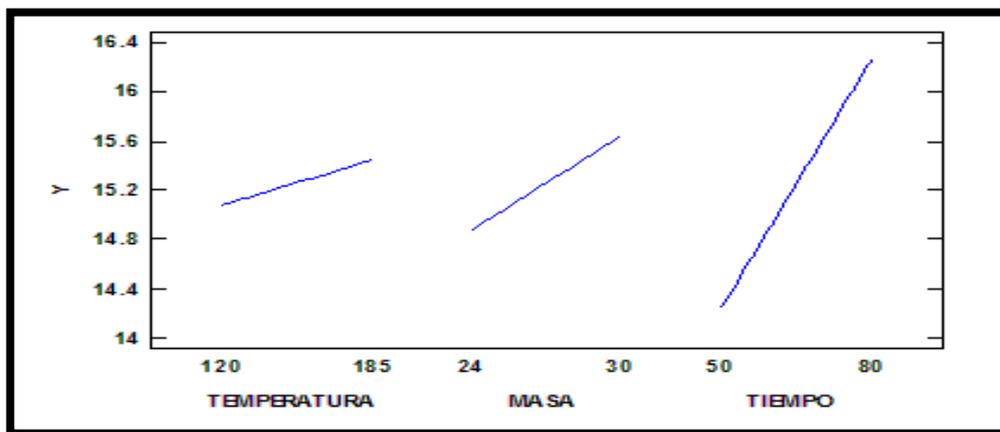


Figura 7: Efectos principales Y (dureza del bioplástico de cáscara del banano)

La figura 7 ilustra que el tiempo tiene mayor influencia que la masa y la temperatura en el rendimiento para la dureza del bioplástico de cáscara del banano. La pendiente muestra un efecto positivo en el tiempo, la masa y la temperatura sobre el rendimiento,

que produce un aumento sobre el rendimiento con el incremento de tiempo, masa y temperatura.

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 23.268

Tabla 30: Efectos del proceso de la elongación del bioplástico de cáscara del plátano

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
TEMPERATURA	120.0	185.0	185.0
MASA	24.0	30.0	30.0
TIEMPO	50.0	80.0	80.0

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevó a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

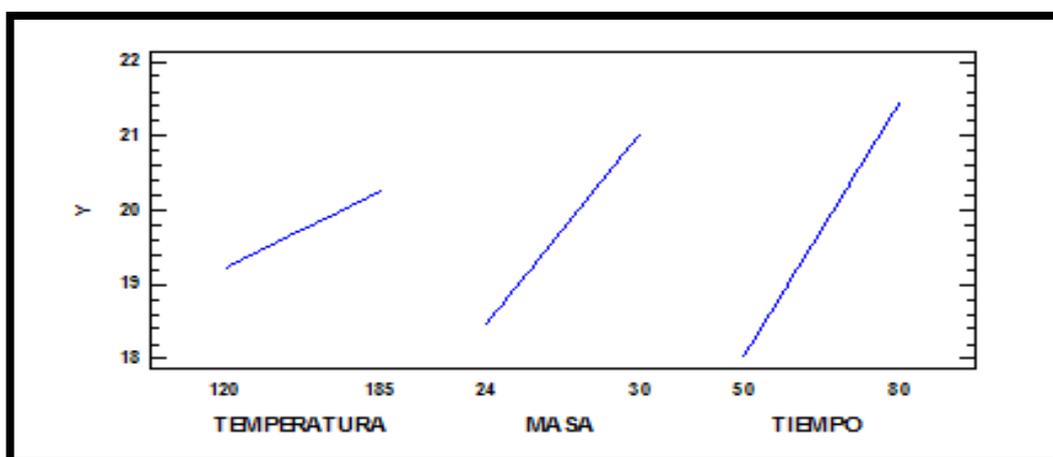


Figura 8: Efectos principales Y (elongación del bioplástico de cáscara del plátano)

La figura 8 ilustra que el tiempo tiene mayor influencia que la masa y la temperatura en el rendimiento para la elongación del bioplástico de cáscara del plátano. La pendiente muestra un efecto positivo en el tiempo, la masa y la temperatura sobre el rendimiento,

lo que produce un aumento sobre el rendimiento con el incremento de tiempo, masa y temperatura.

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 23.005

Tabla 31: Efectos del proceso de la elongación del bioplástico de cáscara del banano

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
TEMPERATURA	120.0	185.0	185.0
MASA	24.0	30.0	30.0
TIEMPO	50.0	80.0	80.0

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevó a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

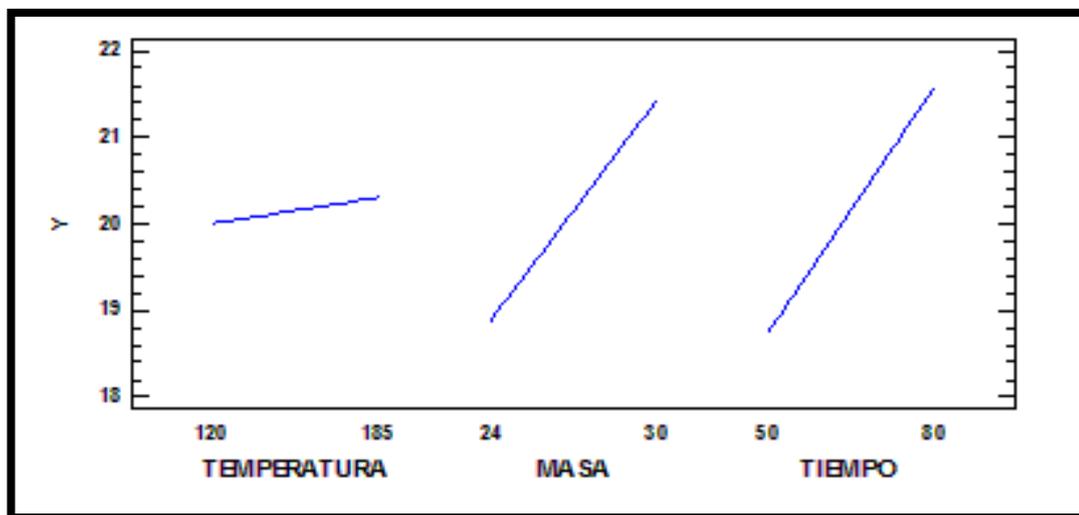


Figura 9: Efectos principales Y (elongación del bioplástico de cáscara del banano)

La figura 9 ilustra que el tiempo y la masa tienen mayor influencia que la temperatura en el rendimiento para la elongación del bioplástico de cáscara del banano. La pendiente muestra un efecto positivo en el tiempo, la masa y la temperatura sobre el rendimiento,

lo que produce un aumento sobre el rendimiento con el incremento de tiempo, masa y temperatura.

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 2.10675

Tabla 32: Efectos del proceso de la flexión del bioplástico de cáscara del plátano

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
TEMPERATURA	120.0	185.0	185.0
MASA	24.0	30.0	30.0
TIEMPO	50.0	80.0	80.0

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevó a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

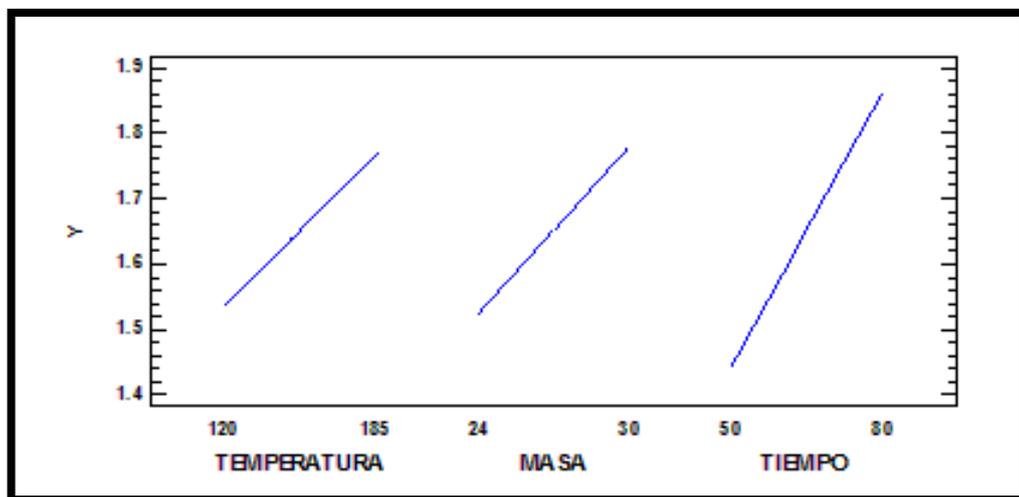


Figura 10: Efectos principales Y (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)

La figura 10 ilustra que el tiempo tiene mayor influencia que la masa y la temperatura en el rendimiento para la flexión del bioplástico de cáscara del plátano. La pendiente muestra un efecto positivo en el tiempo, la masa y la temperatura sobre el rendimiento,

lo que produce un aumento sobre el rendimiento con el incremento de tiempo, masa y temperatura.

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 2.26875

Tabla 33: Efectos del proceso de la flexión del bioplástico de cáscara del banano

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
TEMPERATURA	120.0	185.0	120.0
MASA	24.0	30.0	30.0
TIEMPO	50.0	80.0	80.0

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevó a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

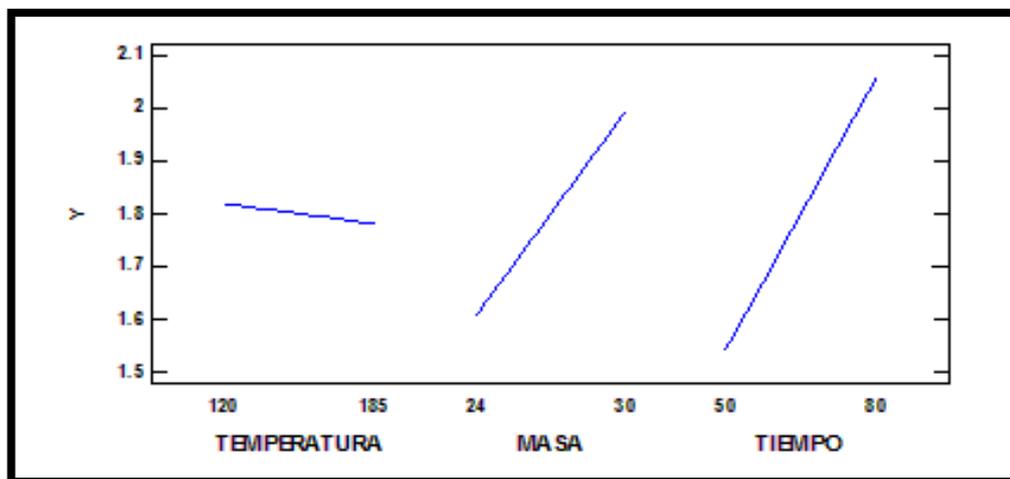


Figura 11: Efectos principales Y (flexión del bioplástico de cáscara del banano)

La figura 11 ilustra que el tiempo tiene mayor influencia que la masa y la temperatura en el rendimiento para la flexión del bioplástico de cáscara del banano. La pendiente muestra un efecto positivo en el tiempo y el peso sobre el rendimiento, que produce un aumento sobre el rendimiento con el incremento del tiempo y la masa; sin embargo la

pendiente muestra un efecto negativo en la temperatura sobre el rendimiento, lo que produce una disminución del rendimiento con el aumento de la temperatura.

Bondad de ajuste del modelo de regresión

La figura 12 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 34 la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, temperatura, masa y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el tiempo, así mismo se observa que la temperatura no es tan significativa.

El tiempo (C) indica cuan representativa es esta variable, a continuación le sigue la masa (B) y finalmente la temperatura (A). Hay indicios de correlación de series en los residuos, a lo que nos indica a menor temperatura mayor tiempo y masa.

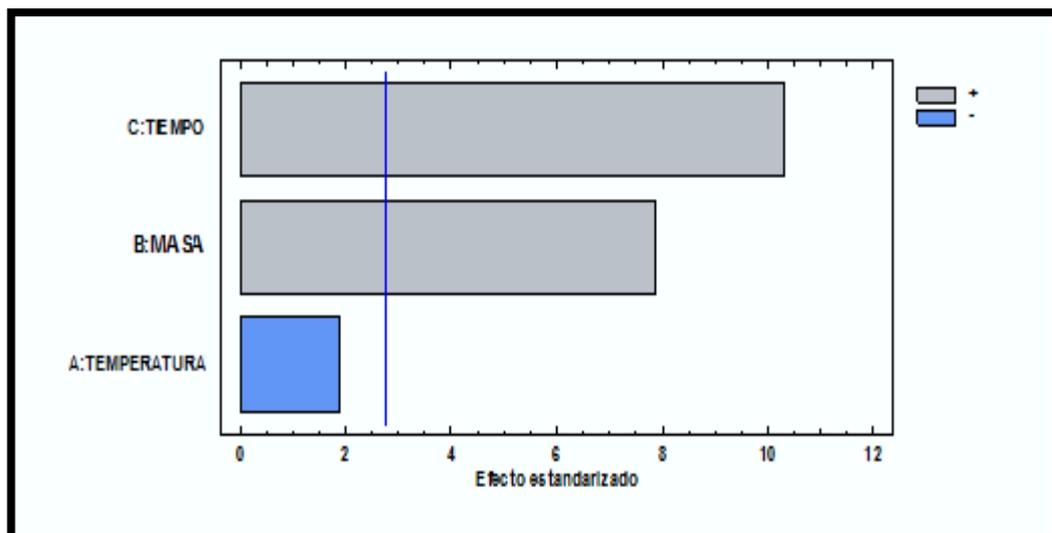


Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (dureza del bioplástico de cáscara del plátano)

En el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 14 se puede apreciar que el tiempo (C) y masa (B) tienen un efecto positivo sobre el rendimiento mientras que la temperatura (A) tiene un efecto negativo sobre el rendimiento.

La figura 13 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 35 la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, temperatura, masa y tiempo,

la más significativa para la variable respuesta es el tiempo, así mismo se observa que la temperatura no es tan significativa.

El tiempo (C) indica cuan representativa es esta variable, a continuación le sigue la masa (B) y finalmente la temperatura (A). Hay indicios de correlación de series en los residuos, a lo que nos indica a menor temperatura mayor tiempo y masa.

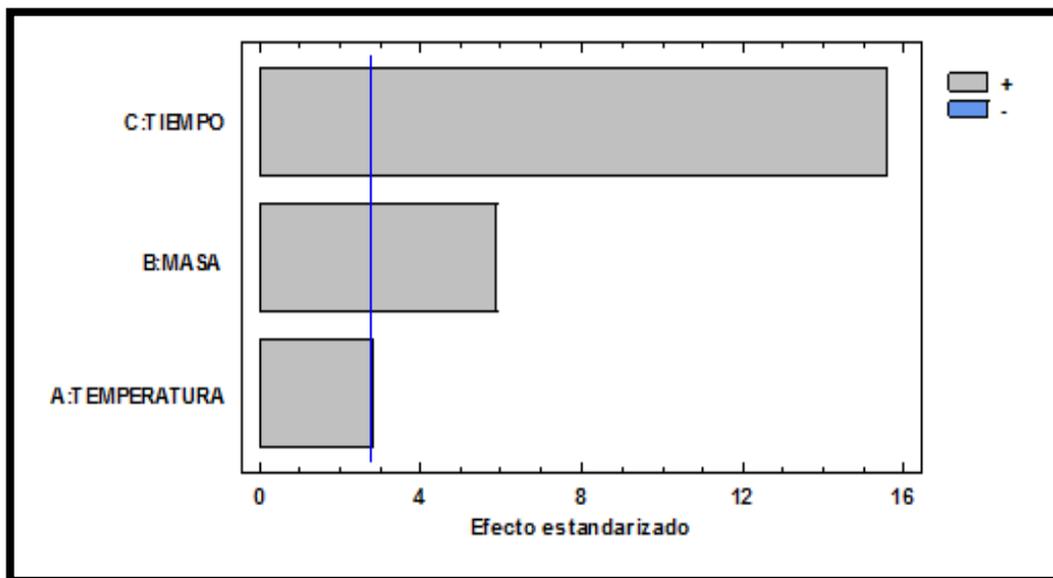


Figura 13: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (dureza del bioplástico de cáscara del banano)

En el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 13 se puede apreciar que el tiempo (C), masa (B) y temperatura (A) tienen un efecto positivo sobre el rendimiento.

La figura 16 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 36 la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, temperatura, masa y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el tiempo, así mismo se observa que la temperatura no es tan significativa.

El tiempo (C) indica cuan representativa es esta variable, a continuación le sigue el masa (B) y finalmente la temperatura (A). Hay indicios de correlación de series en los residuos, a lo que nos indica a menor temperatura mayor tiempo y masa.

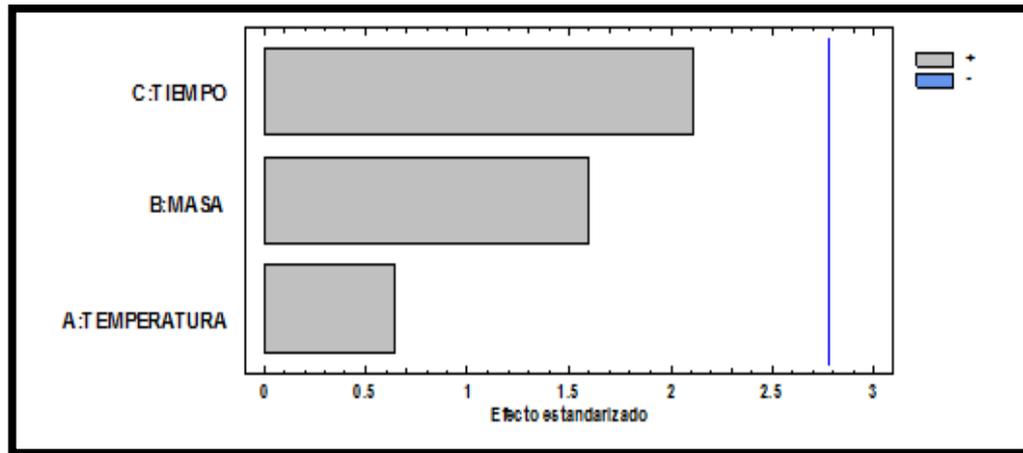


Figura 14: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (elongación del bioplástico de cáscara del plátano)

En el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 14 se puede apreciar que el tiempo (C), masa (B) y temperatura (A) tienen un efecto positivo sobre el rendimiento.

La figura 15 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 37 la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, temperatura, masa y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el tiempo, así mismo se observa que la temperatura no es tan significativa.

El tiempo (C) indica cuán representativa es esta variable, a continuación le sigue la masa (B) y finalmente la temperatura (A). Hay indicios de correlación de series en los residuos, a lo que nos indica a menor temperatura mayor tiempo y masa.

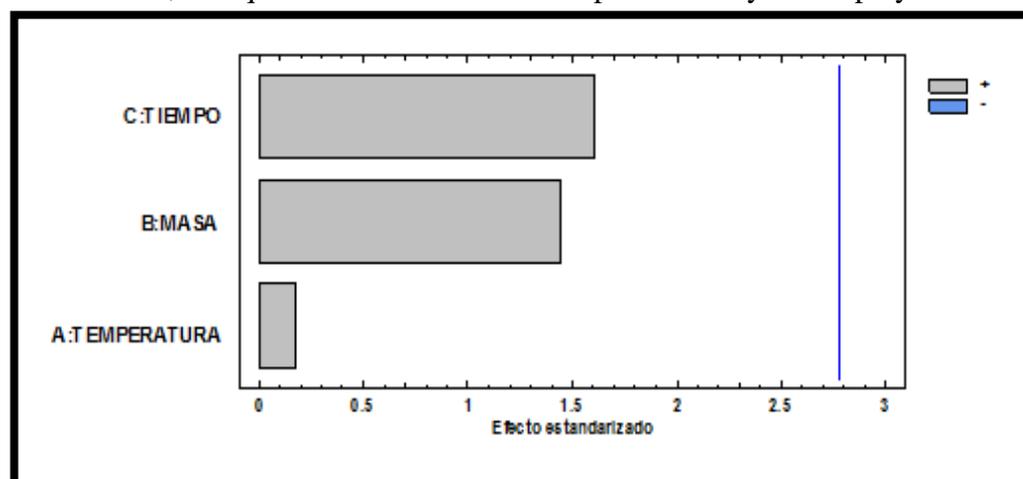


Figura 15: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (elongación del bioplástico de cáscara del banano)

En el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 15 se puede apreciar que el tiempo (C), masa (B) y temperatura (A) tienen un efecto positivo sobre el rendimiento.

La figura 16 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 38 la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, temperatura, masa y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el tiempo, así mismo se observa que la temperatura no es tan significativa.

El tiempo (C) indica cuán representativa es esta variable, a continuación le sigue la masa (B) y finalmente la temperatura (A). Hay indicios de correlación de series en los residuos, a lo que nos indica a menor temperatura mayor tiempo y masa.

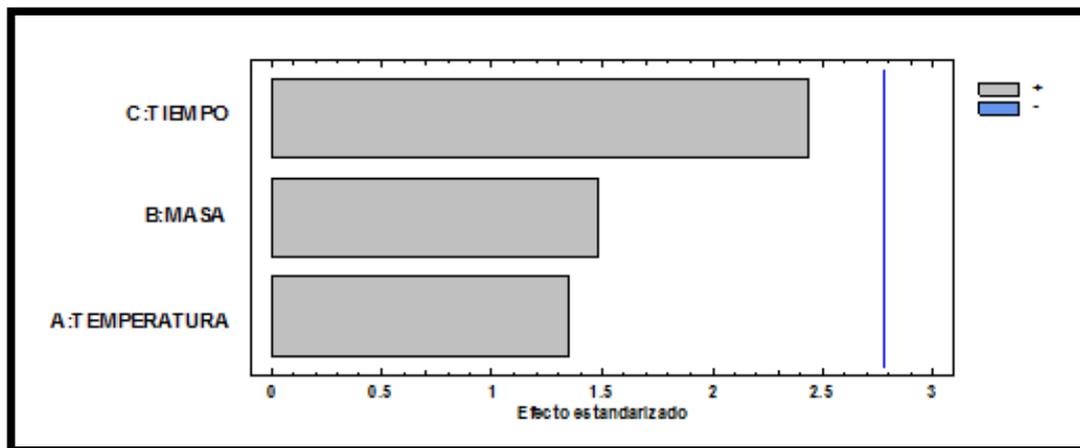


Figura 16: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (flexión del bioplástico de cáscara del plátano)

En el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 16 se puede apreciar que el tiempo (C), masa (B) y temperatura (A) tienen un efecto positivo sobre el rendimiento.

La figura 17 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 39 la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, temperatura, masa y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el tiempo, así mismo se observa que la temperatura no es tan significativa.

El tiempo (C) indica cuan representativa es esta variable, a continuación le sigue la masa (B) y finalmente la temperatura (A). Hay indicios de correlación de series en los residuos, a lo que nos indica a menor temperatura mayor tiempo y masa.

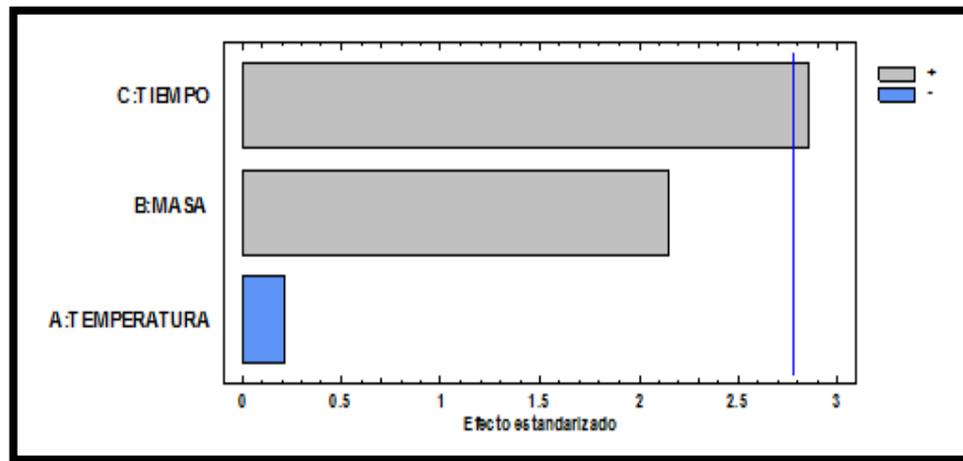


Figura 17: Diagrama de Pareto estandarizada para Y (flexión del bioplástico de cáscara del banano)

En el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 17 se puede apreciar que el tiempo (C) y masa (B) tienen un efecto positivo sobre el rendimiento mientras que la temperatura (A) tiene un efecto negativo sobre el rendimiento.

Visualizando la figura (apolíneas) figuras (18, 19, 20, 21, 22 y 23) podemos interpretar lo siguiente: el valor óptimo para la temperatura es 200 °C.

Esta ventana muestra la ruta ascendente (o descendente). Este es el camino del centro de la región experimental actual a lo largo de la cual la respuesta estimada varía rápidamente con una variación mínima a los factores experimentales. Indica localizaciones buenas para ejecutar experimentos adicionales si su objetivo es aumentar o disminuir rendimiento.

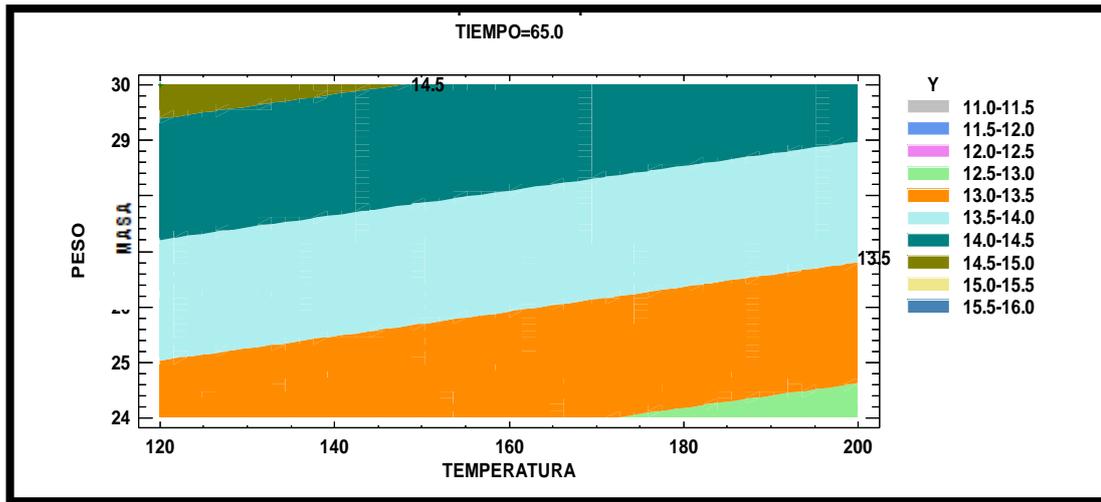


Figura 18: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la dureza del bioplástico de cáscara de plátano

La figura 18 muestra la superficie de respuesta Y (dureza de bioplástico de cáscara de plátano) en función de los dos factores de mayor significancia, a medida que aumenta la masa y la temperatura se obtuvo resultados óptimos, por lo tanto los signos que se les asignaran en la ruta ascendente serán de carácter positivo para ambos factores.

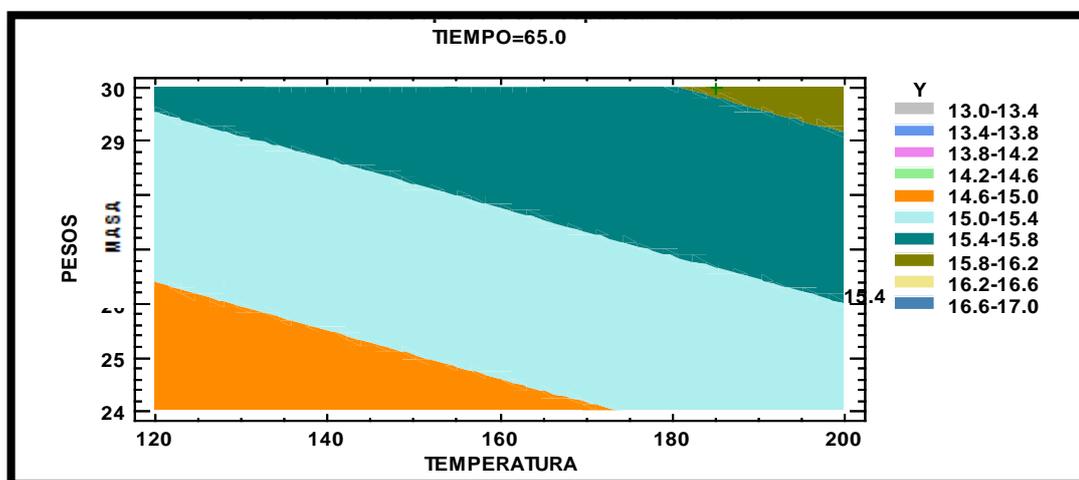


Figura 19: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la dureza del bioplástico de cáscara de banano

La figura 19 muestra la superficie de respuesta Y (dureza de bioplástico de cáscara de banano) en función de los dos factores de mayor significancia, conforme se reduzca la masa, entonces también se irá disminuyendo la temperatura, gracias a la trayectoria

negativa que se observa en esta gráfica los signos que poseerán los pasos en la ruta de descenso serán de carácter negativo.

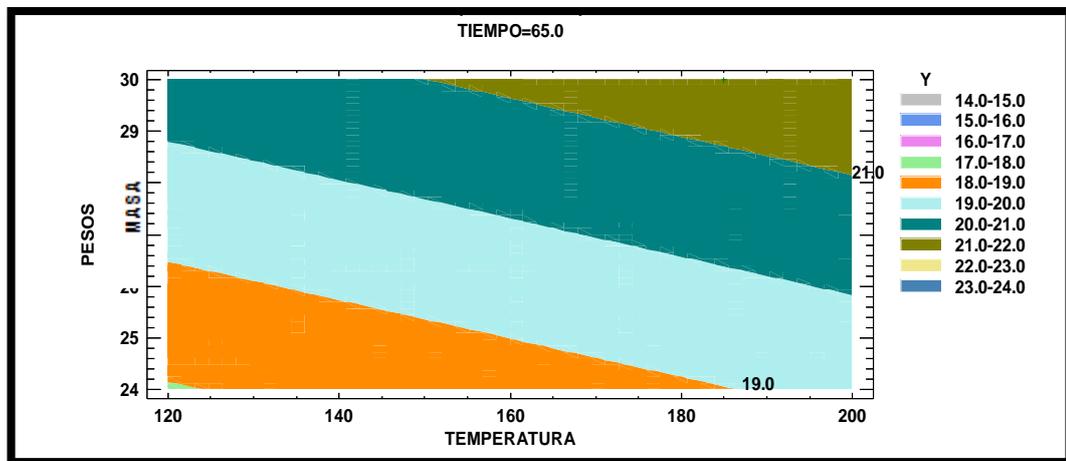


Figura 20: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la elongación del bioplástico de cáscara de plátano

La figura 20 muestra la superficie de respuesta Y (elongación de bioplástico de cáscara de plátano) en función de los dos factores de mayor significancia, conforme se reduzca la masa, entonces también se irá disminuyendo la temperatura, gracias a la trayectoria negativa que se observa en esta gráfica los signos que poseerán los pasos en la ruta de descenso serán de carácter negativo.

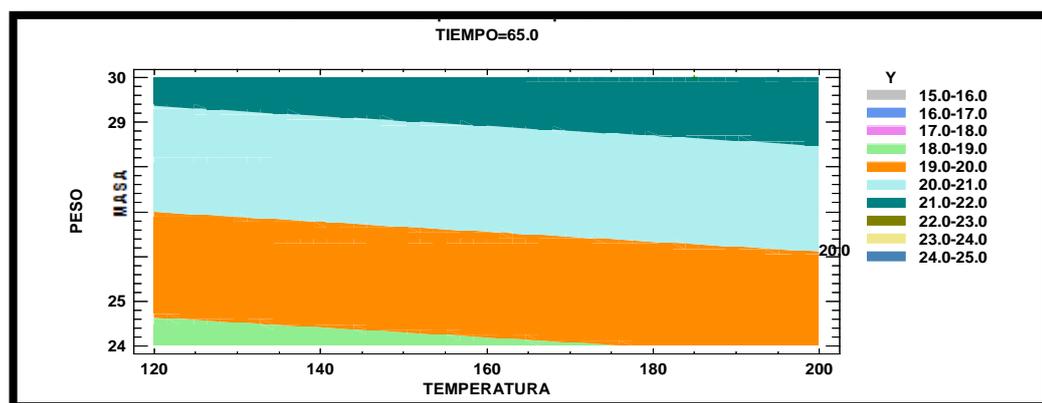


Figura 21: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la elongación del bioplástico de cáscara de banano

La figura 21 muestra la superficie de respuesta Y (elongación de bioplástico de cáscara de banano) en función de los dos factores de mayor significancia, esto quiere

decir que a medida que disminuye la masa y la temperatura, se obtuvo resultados óptimos en el rendimiento, por lo tanto los signos que se les asignaran en la ruta de descenso serán de carácter negativo para ambos factores.

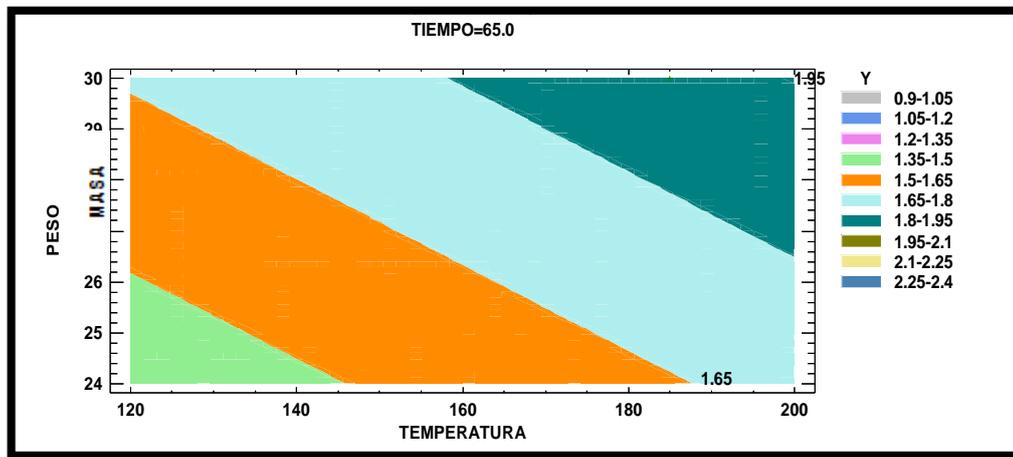


Figura 22: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la flexión del bioplástico de cáscara de plátano

La figura 22 muestra la superficie de respuesta Y (flexión de bioplástico de cáscara de plátano) en función de los dos factores de mayor significancia, esto quiere decir que a medida que disminuye la masa y la temperatura, se obtuvo resultados óptimos en el rendimiento, por lo tanto los signos que se les asignaran en la ruta de descenso serán de carácter negativo para ambos factores.

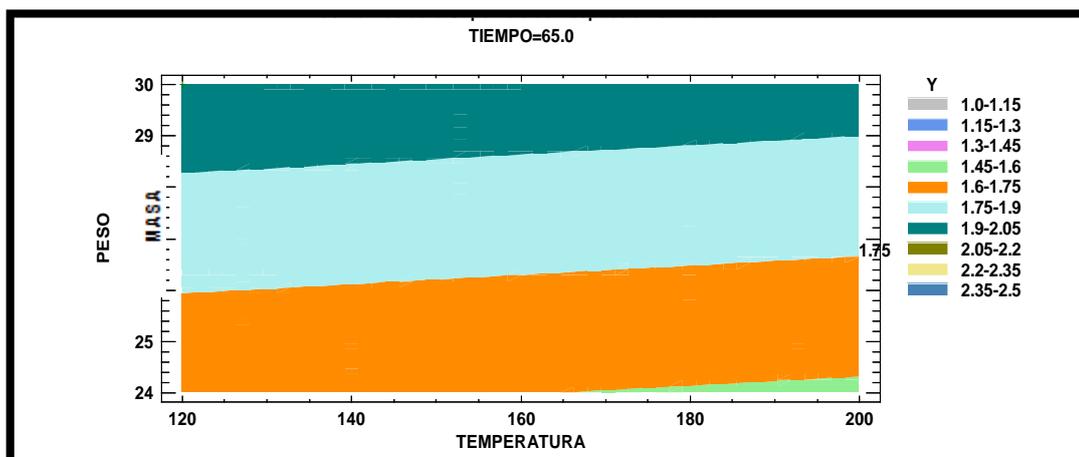


Figura 23: Contorno de la superficie de la respuesta estimada de la flexión del bioplástico de cáscara de banano

La figura 23 muestra la superficie de respuesta Y (flexión de bioplástico de cáscara de banano) en función de los dos factores de mayor significancia, a medida que aumenta la masa y la temperatura se obtuvo resultados óptimos, por lo tanto los signos que se les asignaran en la ruta ascendente serán de carácter positivo para ambos factores.

Resultados estimados del rendimiento (Y) para la dureza, elongación y flexión del bioplástico de la cáscara de plátano y banano.

Tabla 34: Resultado de la estimación Y (dureza del bioplástico de cáscara de plátano)

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
1	12.506	12.3628	11.8766	12.8489
2	11.933	12.033	11.5469	12.5191
3	13.455	13.743	13.2569	14.2291
4	13.658	13.4133	12.9271	13.8994
5	14.106	14.166	13.6799	14.6521
6	13.853	13.8363	13.3501	14.3224
7	15.751	15.5463	15.0601	16.0324
8	15.055	15.2165	14.7304	15.7026

Fuente: elaboración propia

La tabla 34 nos muestra los valores observados de Y (dureza del bioplástico de cáscara de plátano) con los factores experimentales, el valor ajustado de cada factor se determina del promedio que existe entre el inferior y el superior de acuerdo con un intervalo de confianza del 95% para una respuesta media, siendo el 15.5463 el valor ajustado más elevado y 12.033 el valor mínimo.

Tabla 35: Resultado de la estimación Y (dureza del bioplástico de cáscara de banano)

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
1	13.653	13.6913	13.3319	14.0506
2	13.858	14.056	13.6966	14.4154
3	14.551	14.4515	14.0921	14.8109
4	14.953	14.8163	14.4569	15.1756
5	15.759	15.7075	15.3481	16.0669
6	16.257	16.0723	15.7129	16.4316
7	16.355	16.4678	16.1084	16.8271
8	16.709	16.8325	16.4731	17.1919

Fuente: elaboración propia

La tabla 35 nos muestra los valores observados de Y (dureza del bioplástico de cáscara de banano) con los factores experimentales, el valor ajustado de cada factor se determina del promedio que existe entre el inferior y el superior de acuerdo con un intervalo de confianza del 95% para una respuesta media, siendo el 16.8325 el valor ajustado más elevado y 13.6913 el valor mínimo.

Tabla 36: Resultado de la estimación Y (elongación del bioplástico de cáscara de plátano)

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
1	14.556	16.2312	11.7443	20.7182
2	15.758	17.27	12.783	21.757
3	20.759	18.818	14.331	23.305
4	21.103	19.8567	15.3698	24.3437
5	21.354	19.6425	15.1555	24.1295
6	22.157	20.6812	16.1943	25.1682
7	20.252	22.2293	17.7423	26.7162
8	22.058	23.268	18.781	27.755

Fuente: elaboración propia

La tabla 36 nos muestra los valores observados de Y (elongación del bioplástico de cáscara de plátano) con los factores experimentales, el valor ajustado de cada factor se determina del promedio que existe entre el inferior y el superior de acuerdo con un intervalo de confianza del 95% para una respuesta media, siendo el 23.268 el valor ajustado más elevado y 16.2312 el valor mínimo.

Tabla 37: Resultado de la estimación Y (elongación del bioplástico de cáscara de banano)

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
1	15.357	17.311	12.4047	22.2173
2	16.072	17.6155	12.7092	22.5218
3	21.858	19.856	14.9497	24.7623
4	21.656	20.1605	15.2542	25.0668
5	22.155	20.1555	15.2492	25.0618
6	21.958	20.46	15.5537	25.3663
7	20.653	22.7005	17.7942	27.6068
8	21.555	23.005	18.0987	27.9113

Fuente: elaboración propia

La tabla 37 nos muestra los valores observados de Y (elongación del bioplástico de cáscara de banano), el valor ajustado de cada factor se determina del promedio que existe entre el inferior y el superior de acuerdo con un intervalo de confianza del 95% para una respuesta media, siendo el 23.005 el valor ajustado más elevado y 17.311 el valor mínimo.

Tabla 38: Resultado de la estimación Y (flexión del bioplástico de cáscara de plátano)

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
1	0.953	1.197	0.71727	1.67673
2	1.355	1.43025	0.95052	1.90998
3	1.607	1.45325	0.97352	1.93298
4	1.852	1.6865	1.20677	2.16623
5	1.878	1.61725	1.13752	2.09698
6	1.909	1.8505	1.37077	2.33023
7	1.703	1.8735	1.39377	2.35323
8	1.958	2.10675	1.62702	2.58648

Fuente: elaboración propia

La tabla 38 nos muestra los valores observados de Y (flexión del bioplástico de cáscara de plátano) con los factores experimentales, el valor ajustado de cada factor se determina del promedio que existe entre el inferior y el superior de acuerdo con un intervalo de confianza del 95% para una respuesta media, siendo el 2.10675 el valor ajustado más elevado y 1.43025 el valor mínimo.

Tabla 39: Resultado de la estimación Y (flexión del bioplástico de cáscara de banano)

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
1	1.408	1.36925	0.870154	1.86835
2	1.057	1.3315	0.832404	1.8306
3	1.703	1.755	1.2559	2.2541
4	2.005	1.71725	1.21815	2.21635
5	2.108	1.883	1.3839	2.3821
6	1.856	1.84525	1.34615	2.34435
7	2.057	2.26875	1.76965	2.76785
8	2.207	2.231	1.7319	2.7301

Fuente: elaboración propia utilizando Statygraphics

La tabla 39 nos muestra los valores observados de Y (flexión del bioplástico de cáscara de banano) con los factores experimentales, el valor ajustado de cada factor se determina del promedio que existe entre el inferior y el superior de acuerdo con un intervalo de confianza del 95% para una respuesta media, siendo el 2.26875 el valor ajustado más elevado y 1.3315 el valor mínimo.

Ascenso máximo de rendimiento (Y) para la dureza, elongación y flexión del bioplástico de la cáscara de plátano y banano.

Tabla 40: Ruta ascendente Y (dureza del bioplástico de cáscara de plátano)

<i>TEMPERATURA</i> (°C)	<i>MASA</i> (mg)	<i>TIEMPO</i> (min)	<i>Predicción para</i> <i>Y</i> (N)
152.5	27.0	65.0	13.7896
153.5	26.6136	62.4761	13.544
154.5	26.2272	59.9521	13.2983
155.5	25.8409	57.4282	13.0526
156.5	25.4545	54.9042	12.807
157.5	25.0681	52.3803	12.5613

Fuente: elaboración propia

La tabla 40 detalla la técnica de la ruta ascendente, definido de esta manera por la trayectoria positiva. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales, lo que indica incrementar el rendimiento entre un 12.5613 hasta 13.7896.

Tabla 41: Ruta ascendente Y (dureza del bioplástico de cáscara de banano)

TEMPERATURA (°C)	MASA (mg)	TIEMPO (min)	Predicción para Y (N)
152.5	27.0	65.0	15.2619
153.5	27.1924	67.5513	15.4633
154.5	27.3848	70.1025	15.6648
155.5	27.5772	72.6538	15.8662
156.5	27.7696	75.2051	16.0677
157.5	27.962	77.7564	16.2692

Fuente: elaboración propia

La tabla 41 detalla la técnica de la ruta ascendente, definido de esta manera por la trayectoria positiva. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales, lo que indica incrementar el rendimiento entre un 15.2619 hasta 16.2692.

Tabla 42: Ruta ascendente Y (elongación del bioplástico de cáscara de plátano)

TEMPERATURA (°C)	MASA (mg)	TIEMPO (min)	Predicción para Y (%)
152.5	27.0	65.0	19.7496
153.5	27.2299	66.5157	20.0371
154.5	27.4597	68.0314	20.3245
155.5	27.6896	69.5471	20.6119
156.5	27.9195	71.0628	20.8993
157.5	28.1493	72.5785	21.1868

Fuente: elaboración propia

La tabla 42 detalla la técnica de la ruta ascendente, definido de esta manera por la trayectoria positiva. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en

los factores experimentales, lo que indica incrementar el rendimiento entre un 19.7496 hasta 2.1868.

Tabla 43: Ruta ascendente Y (elongación del bioplástico de cáscara de banano)

TEMPERATURA (°C)	MASA (mg)	TIEMPO (min)	Predicción para Y (%)
152.5	27.0	65.0	20.158
153.5	27.7715	69.3115	20.8987
154.5	28.543	73.623	21.6395
155.5	29.3145	77.9344	22.3802
156.5	30.086	82.2459	23.1209
157.5	30.8575	86.5574	23.8617

Fuente: elaboración propia

La tabla 43 detalla la técnica de la ruta ascendente, definido de esta manera por la trayectoria positiva. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales, lo que indica incrementar el rendimiento entre un 20.158 hasta 23.8617.

Tabla 44: Ruta ascendente Y (flexión del bioplástico de cáscara de plátano)

TEMPERATURA (°C)	MASA (mg)	TIEMPO (min)	Predicción para Y (Cm)
152.5	27.0	65.0	1.65188
153.5	27.1014	65.8316	1.67144
154.5	27.2028	66.6631	1.69101
155.5	27.3042	67.4947	1.71058
156.5	27.4056	68.3262	1.73015
157.5	27.507	69.1578	1.74972

Fuente: elaboración propia

La tabla 44 detalla la técnica de la ruta ascendente, definido de esta manera por la trayectoria positiva. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales, lo que indica incrementar el rendimiento entre un 1.65188 hasta 1.74972.

Tabla 45: Ruta ascendente Y (flexión del bioplástico de cáscara de banano)

<i>TEMPERATURA</i> (°C)	<i>MASA</i> (mg)	<i>TIEMPO</i> (min)	<i>Predicción para</i> <i>Y</i> (Cm)
152.5	27.0	65.0	1.80013
153.5	26.0567	58.7188	1.63134
154.5	25.1135	52.4376	1.46255
155.5	24.1702	46.1564	1.29376
156.5	23.227	39.8752	1.12497
157.5	22.2837	33.594	0.956178

Fuente: elaboración propia

La tabla 45 detalla la técnica de la ruta ascendente, definido de esta manera por la trayectoria positiva. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales, lo que indica incrementar el rendimiento entre un 0.956178 hasta 1.80013.

Datos experimentales para el procesamiento de la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano y de banano:

Para la obtención del almidón se empleó diferentes métodos pero se tomó en cuenta los datos del segundo método, después de realizar la obtención del almidón se procedió a la elaboración del bioplástico.

Tabla 46: Insumos para la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano

MUESTRA	ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (mg)	GLICEROL (mL)	HCl (mL)	NaOH (mL)
P1	24	2	3	3
P2	25	4	6	3
P3	26	4	6	6
P4	29	5	5	7

Fuente: Elaboración propia

La tabla 46 muestra la cantidad de insumos que se utilizaron en cada muestra para la elaboración de bioplástico de la cáscara de plátano.

Tabla 47: Parámetros para la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano

MUESTRA	MASA (mg)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
P1	24	60	170
P2	25	80	120
P3	26	70	150
P4	29	50	185

Fuente: Elaboración propia

La tabla 47 indica los parámetros de peso, tiempo y temperatura a los que se trabajó cada muestra para la elaboración del bioplástico de la cáscara de plátano.

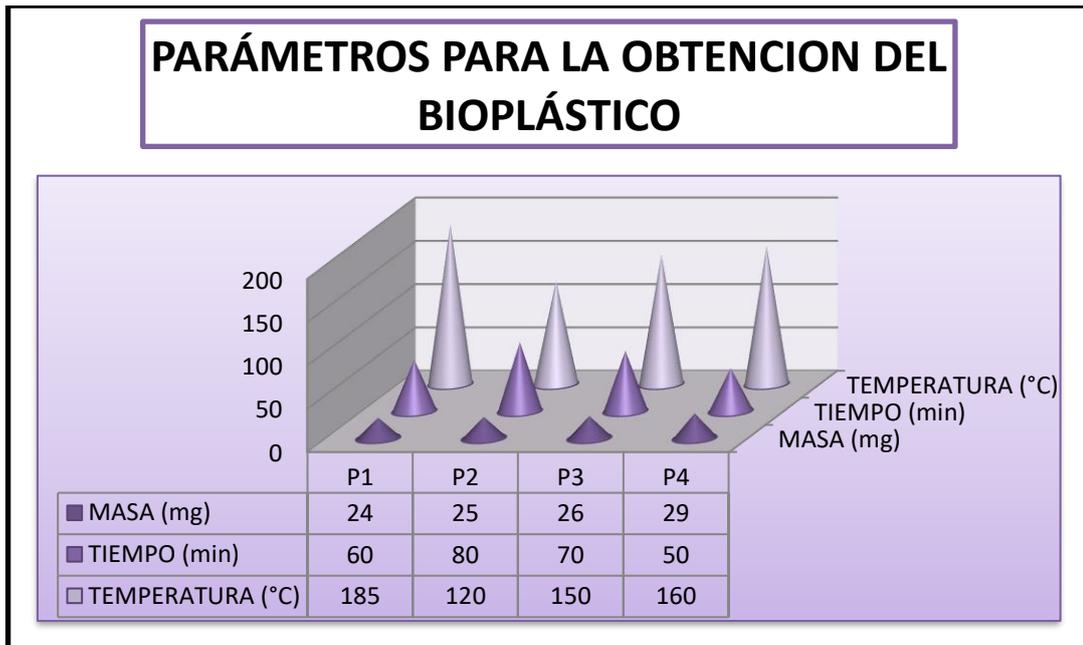


Figura 24: *Parámetros para la obtención del bioplástico de la cáscara de plátano*

La figura 24 representa los parámetros de peso, tiempo y temperatura a los que se trabajó cada muestra para la elaboración del bioplástico de la cáscara de plátano, en donde se observa la diferencia de los parámetros a los que se trabajó.

Tabla 48: *Insumos para la obtención del bioplástico de la cáscara de banano*

MUESTRA	ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO (mg)	GLICEROL (mL)	HCl (mL)	NaOH (mL)
B1	25	2	3	3
B2	24	4	6	3
B3	26	4	6	6
B4	29	5	5	7

Fuente: Elaboración propia

La tabla 48 muestra la cantidad de insumos que se utilizaron en cada muestra para la elaboración de bioplástico de la cáscara de banano.

Tabla 49: Parámetros para la obtención del bioplásticos de la cáscara de banano

MUESTRA	MASA (mg)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
B1	25	60	185
B2	24	80	120
B3	26	70	150
B4	29	50	160

Fuente: Elaboración propia

La tabla 49 indica los parámetros de peso, tiempo y temperatura a los que se trabajó cada muestra para la elaboración del bioplástico de la cáscara de banano.

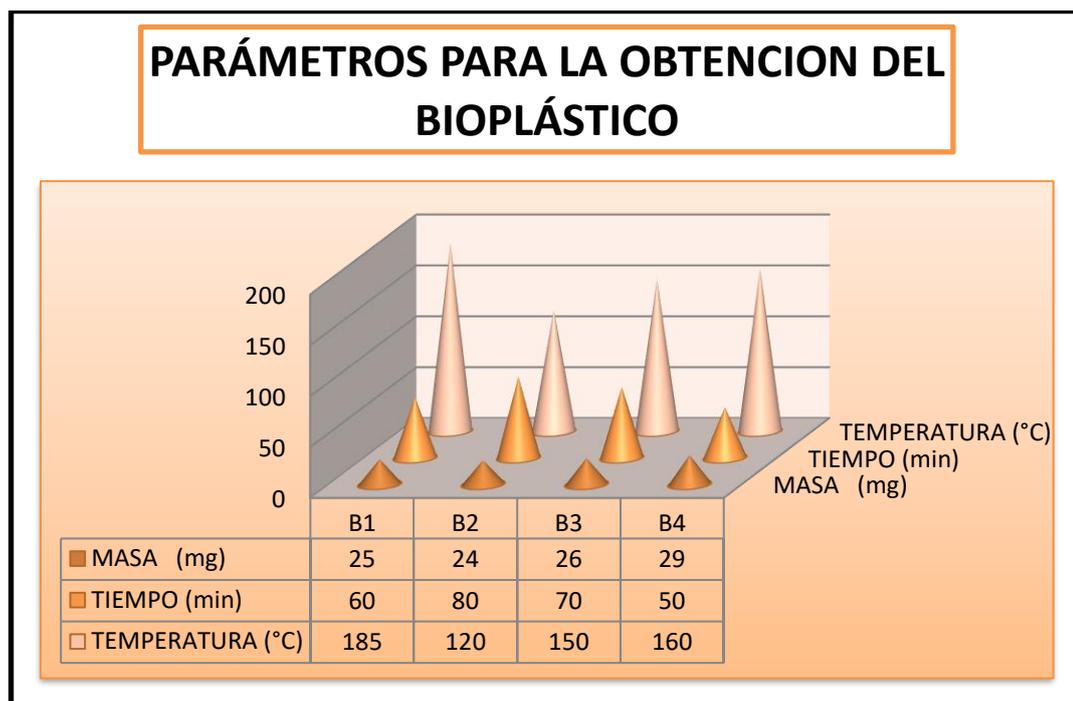


Figura 25: Parámetros para la obtención del bioplásticos de la cáscara de banano

La figura 25 representa los parámetros de peso, tiempo y temperatura a los que se trabajó cada muestra para la elaboración del bioplástico de la cáscara de banano, en donde se observa la diferencia de los parámetros a los que se trabajó.

En esta investigación se evaluó las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido tanto de la cáscara de plátano como la cascara de banano.

Después de sintetizar cada una de las formulas del bioplástico se procedió a caracterizar cada una de ellas mediante tres pruebas fisicoquímica. La primera prueba a la que se sometieron las formulaciones fue la prueba de dureza, la cual fue realizada en un durómetro, en esta prueba se determinó la fuerza necesaria para que cedieran o se fragmentaran las fibras exteriores de cada muestra. La fuerza fue medida en Newton, los resultados se presentan en la tabla 50.

Tabla 50: Resultados de la dureza del bioplástico de la cáscara de plátano

PRUEBA	FORMULACIÓN	DUREZA	PROMEDIO
		(N)	DUREZA (N)
DUREZA	P1	M1	12.506
		M2	11.933
	P2	M1	13.455
		M2	13.658
	P3	M1	14.106
		M2	13.853
	P4	M1	15.751
		M2	15.055

Fuente: Elaboración propia

Dónde: N = Newton = $m \cdot kg \cdot s^{-2}$

En la tabla 50 nos indica las diferentes durezas que se obtuvo en las 4 muestras, la muestra P1 cuyo promedio fue 12.220N, siendo esta la dureza promedio más baja, en la cual poseía una menor cantidad de aditivos tanto como el almidón y la glicerina, en cambio en la muestra P4 se obtuvo la dureza 15.403N, siendo esta la más elevada ya que en esta muestra se le adicione una mayor cantidad de insumos, indicando que cuanto más almidón y glicerina se le adicione a la muestra mayor será la dureza.

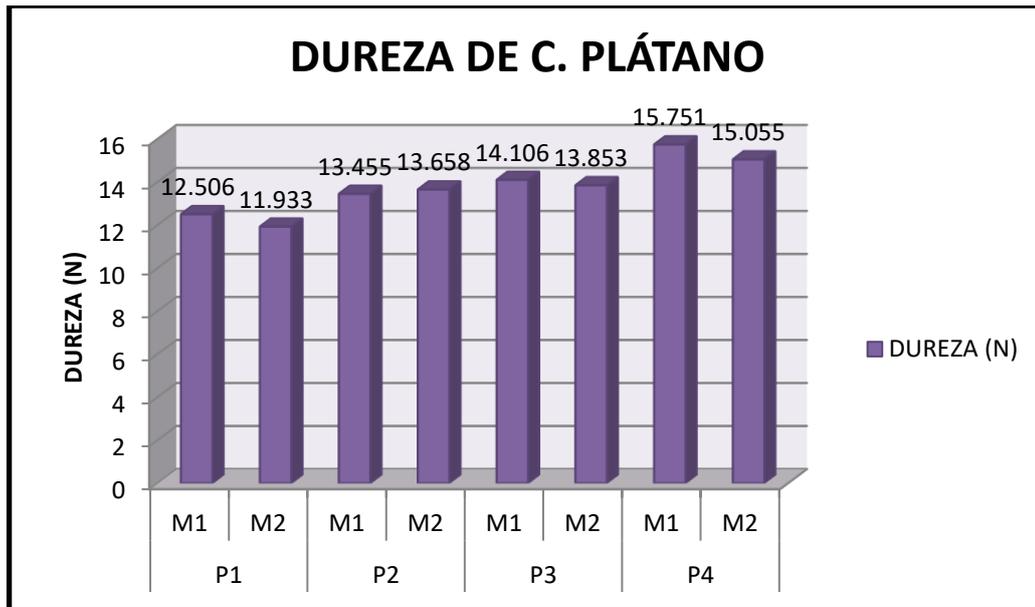


Figura 26: Resultados de la dureza del bioplástico de la cáscara de plátano

Tabla 51: Resultados de la dureza del bioplástico de la cáscara de banano

PRUEBA	FORMULACIÓN	DUREZA (N)	PROMEDIO DUREZA (N)
DUREZA	B1	M1	13.653
		M2	13.858
	B2	M1	14.551
		M2	14.953
	B3	M1	15.759
		M2	16.257
	B4	M1	16.355
		M2	16.709
			13.755
			14.752
			16.008
			16.532

Fuente: Elaboración propia

La tabla 51 indica la diferentes durezas que se obtuvo en las 4 muestras, la muestra B1 cuyo promedio fue 13.755N, siendo esta la dureza promedio más baja, en la cual poseía una menor cantidad de aditivos tanto como el almidón y la glicerina, en cambio en la muestra B4 se obtuvo la dureza 16.532N, siendo esta la más alta ya que a esta muestra se le adicione una mayor cantidad de insumos, indicando que cuanto más almidón y glicerina se le adicione a la muestra mayor será la dureza.

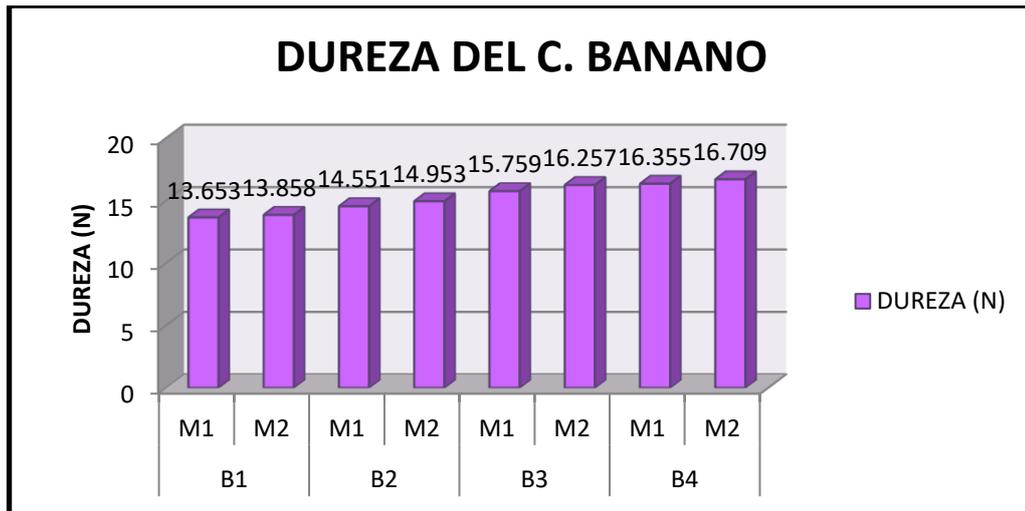


Figura 27: Resultados de la dureza del bioplástico de la cáscara de banano

- *Comparando los resultados de las durezas obtenidas del bioplástico tanto de la cascara de plátano como la de la cascara de banano: Nos indica que se obtuvo durezas más elevadas con las muestras que contenían el almidón de la cascara de banano.*

La segunda formulación realizada fue la prueba de elongación en la cual se midió la longitud desplazada de cada muestra en base al peso que provocó la elongación, haciendo una relación entre la longitud final e inicial de cada muestra y presentando esta relación en porcentaje. Se midió el desplazamiento longitudinal.

Tabla 52: Resultados de la elongación del bioplástico de la cáscara de plátano

PRUEBA	FORMULACIÓN	ELONGACIÓN (%)	PROMEDIO ELONGACIÓN (%)
ELONGACIÓN	P1	M1	14.556
		M2	15.758
	P2	M1	20.759
		M2	21.103
	P3	M1	21.354
		M2	22.157
	P4	M1	20.252
		M2	22.058

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra las distintas elongaciones que se obtuvo en las 4 muestras realizadas, la muestra P1 cuyo promedio fue 15.157%, siendo esta la elongación promedio más baja la cual se trabajó con una pesa de 50g, en cambio en las muestras P3 y P4 las elongaciones fueron 21.755% y 21.155% respectivamente siendo estas las más elevadas ya que se utilizó una pesa de 100 gramos.

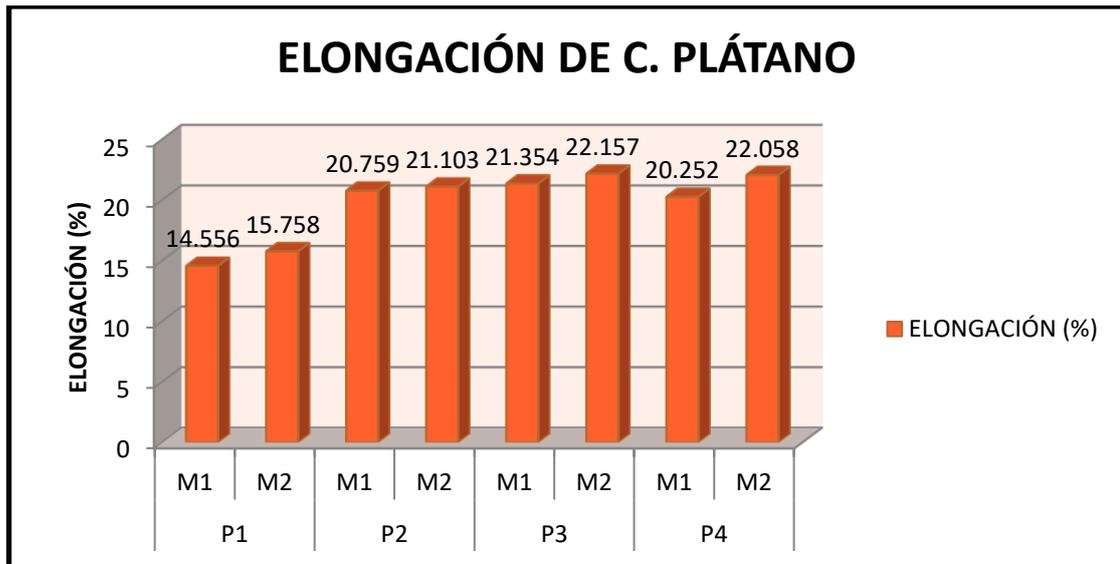


Figura 28: Resultados de la elongación del bioplástico de la cáscara de plátano

Tabla 53: Resultados de la elongación del bioplástico de la cáscara de banano

PRUEBA	FORMULACIÓN	ELONGACIÓN	
		(%)	(%)
ELONGACIÓN	B1	M1	15.357
		M2	16.072
	B2	M1	21.858
		M2	21.656
	B3	M1	22.155
		M2	21.958
	B4	M1	20.653
		M2	21.555

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra las distintas elongaciones que se obtuvo en las 4 muestras realizadas, la muestra B1 cuyo promedio fue 15.715%, siendo esta muestra con la elongación promedio más baja la cual se trabajó con una pesa de 50g, en cambio en la muestra B3 la elongación fue 21.755% siendo esta la más elevada ya que se utilizó una pesa de 100 gramos.

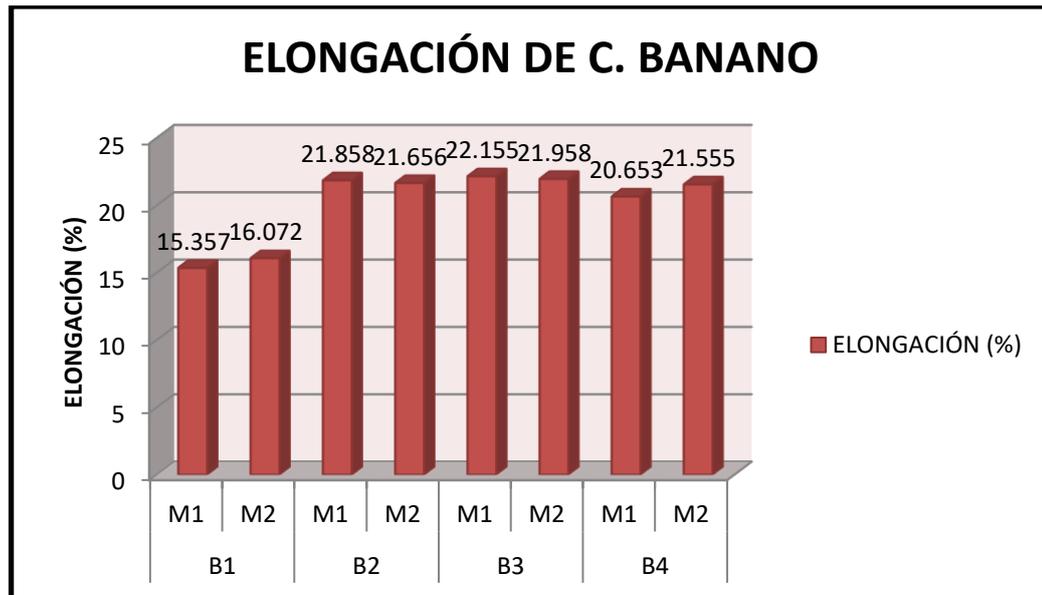


Figura 29: Resultados de la elongación del bioplástico de la cáscara de banano

- *Comparando los resultados de las elongaciones obtenidas del bioplástico tanto de la cascara de plátano como la de la cáscara de banano: Nos indica que se obtuvo elongaciones muy similares pero el bioplástico de cascara de banano sigue prevaleciendo.*

La última prueba fisicoquímica a la que fueron sometidas las formulaciones fue la prueba de flexión, en esta prueba se midió el desplazamiento de cada muestra en base al peso que provocó el desplazamiento, el desplazamiento fue medido en centímetros y se tomó en cuenta el desplazamiento provocado hasta que las fibras exteriores se fragmentaron o se rompieron. Se midió el desplazamiento del espesor en cada muestra.

Tabla 54: Resultados de la flexión del bioplástico de la cáscara de plátano

PRUEBA	FORMULACIÓN	FLEXIÓN (cm)	PROMEDIO FLEXIÓN (cm)	
FLEXIÓN	P1	M1	0.953	1.154
		M2	1.355	
	P2	M1	1.607	1.729
		M2	1.852	
	P3	M1	1.878	1.894
		M2	1.909	
	P4	M1	1.703	1.831
		M2	1.958	

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra las distintas flexiones que se obtuvo en las 4 muestras realizadas, las muestras P1 y P3 cuyos promedios fueron 1.154cm y 1.894cm respectivamente, siendo este el promedio más bajo y más alto en esta ocasión se utilizó una pesa de 100 gramos para todas las muestras.

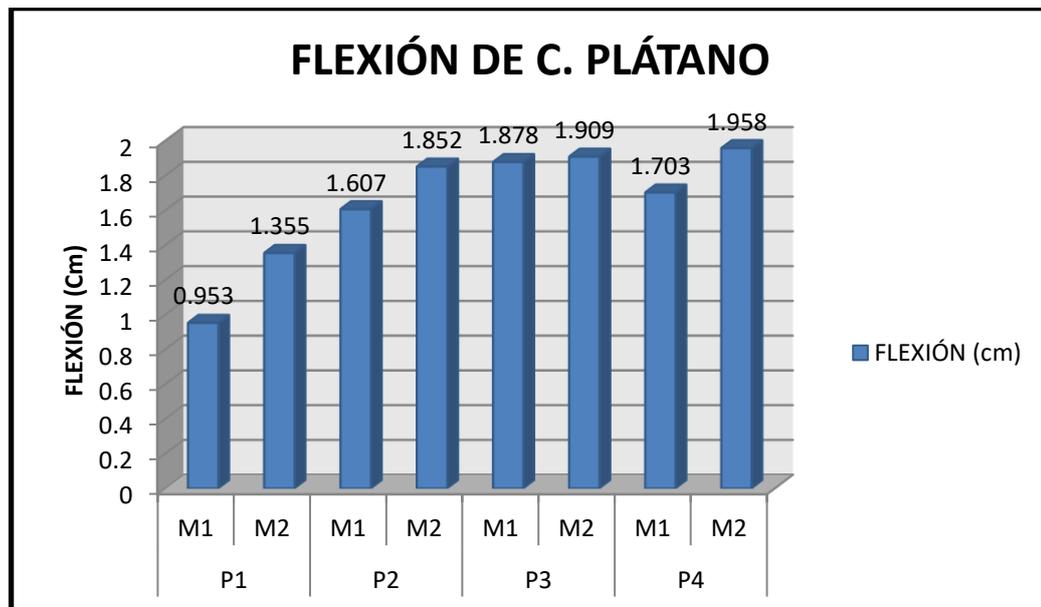


Figura 30: Resultados de la flexión del bioplástico de la cáscara de plátano

Tabla 55: Resultados de la flexión del bioplástico de la cáscara de banano

PRUEBA	FORMULACIÓN	FLEXIÓN (cm)	PROMEDIO FLEXIÓN (cm)
FLEXIÓN	B1	M1	1.408
		M2	1.057
	B2	M1	1.703
		M2	2.005
	B3	M1	2.108
		M2	1.856
	B4	M1	2.057
		M2	2.207
			1.233
			1.854
			1.982
			2.132

Fuente: Elaboración propia

La tabla 55 muestra las distintas flexiones que se obtuvo en las 4 muestras realizadas, las muestra P1 y P4 cuyos promedios fueron 1.233cm y 2.132cm respectivamente, siendo este el promedio más bajo y más alto en esta ocasión se utilizó una pesa de 100 gramos para todas las muestras.

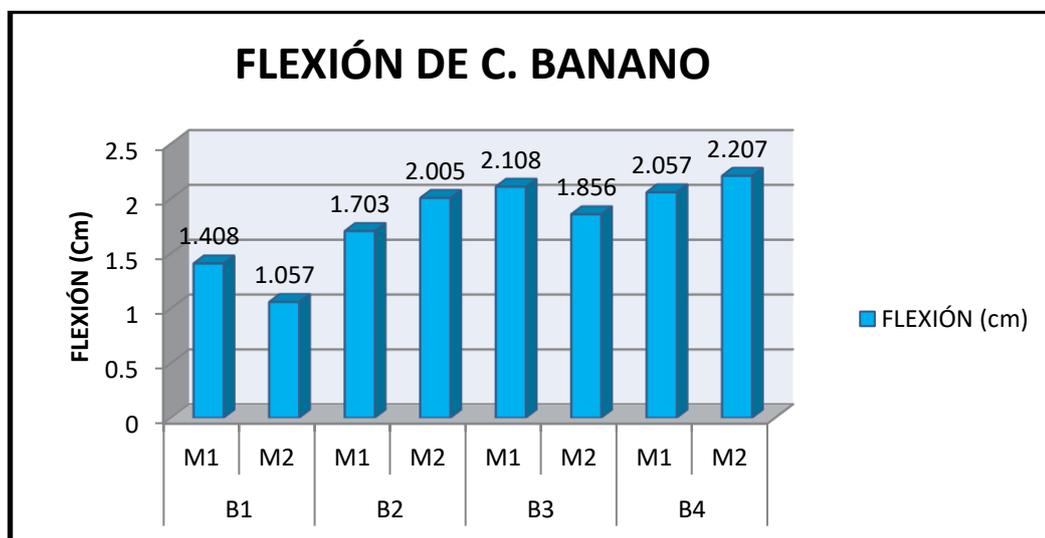


Figura 31: Resultados de la flexión del bioplástico de la cáscara de banano

- *Comparando los resultados de flexión obtenidas del bioplástico tanto de la cascara de plátano como la de la cáscara de banano: Nos indica que se obtuvo flexiones más elevadas con las muestras que contenían el almidón de la cascara de banano.*

Luego de realizadas las pruebas fisicoquímicas se procedió a determinar la prueba de degradabilidad al bioplástico obtenido; se realizara la prueba de degradabilidad, bajo agua, en donde se simulo una degradación en medio acuoso. Los resultados de las pruebas de degradabilidad pueden observarse en las siguientes tablas 56 y 57.

Tabla 56: Resultados de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de plátano

MUESTRA	PRUEBA	DÍAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DEGRADABILIDAD	% DEGRADABILIDAD PROMEDIO
P1			6.435	6.283	2.36	
P2	Agua	1	6.584	6.423	2.45	2.46%
P3			6.362	6.204	2.48	
P4			6.317	6.157	2.53	
P1			6.762	5.291	21.75	
P2	Agua	10	6.664	5.236	21.43	21.62%
P3			6.689	5.242	21.63	
P4			6.713	5.258	21.67	
P1			6.573	4.211	35.93	
P2	Agua	20	6.548	4.199	35.87	35.83%
P3			6.427	4.131	35.72	
P4			6.536	4.197	35.79	
P1			6.589	2.419	63.29	
P2	Agua	25	6.632	2.431	63.34	63.30%
P3			6.617	2.428	63.31	
P4			6.542	2.404	63.25	
P1			6.632	1.369	79.36	
P2	Agua	35	6.685	1.374	79.45	79.38%
P3			6.651	1.372	79.37	
P4			6.594	1.362	79.34	
P1			6.685	0.957	85.68	
P2	Agua	40	6.664	0.956	85.65	85.64%
P3			6.635	0.962	85.50	
P4			6.712	0.958	85.73	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 56 se observa la degradabilidad de las muestras al transcurso de los días, mientras más días las muestras de bioplástico de la cáscara de plátano se encuentren en el agua se incrementa el porcentaje de degradabilidad, como notamos esto, es posible tomando como referencia al peso inicial y el peso después de los días que permaneció en el agua, notando así cuanto es la degradación obtenida. De igual manera se sacó un porcentaje de degradación de las muestras de bioplástico de la cáscara de plátano para obtener una degradación promedio.

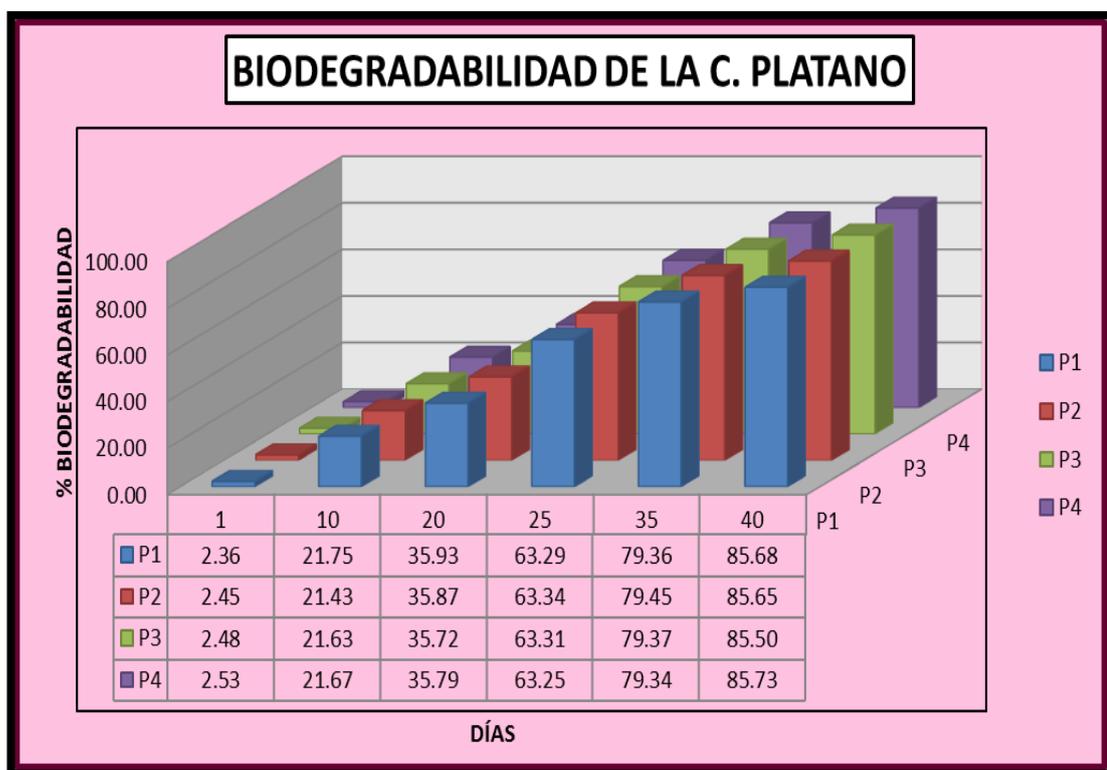


Figura 32: Resultados de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de plátano

La figura 32 nos muestra gráficamente el proceso de la degradabilidad progresiva de la cáscara de plátano referente a su peso y a los días transcurridos durante su degradación. Se puede observar como el bioplástico va disminuyendo su volumen al transcurso de los días que permaneció en el agua.

Tabla 57: Resultados de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de banano

MUESTRA	PRUEBA	DÍAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DEGRADABILIDAD	% DEGRADABILIDAD PROMEDIO
B1			7.216	7.003	2.95	
B2	Agua	1	7.158	6.951	2.89	2.94%
B3			7.183	6.973	2.92	
B4			7.365	7.146	2.97	
B1			7.326	5.583	23.79	
B2	Agua	10	7.417	5.648	23.85	23.83%
B3			7.364	5.610	23.82	
B4			7.381	5.619	23.87	
B1			7.575	4.758	37.19	
B2	Agua	20	7.602	4.773	37.21	37.22%
B3			7.563	4.747	37.23	
B4			7.584	4.758	37.26	
B1			7.588	2.588	65.89	
B2	Agua	25	7.572	2.584	65.87	65.94%
B3			7.612	2.586	66.03	
B4			7.656	2.605	65.97	
B1			7.306	1.452	80.13	
B2	Agua	35	7.319	1.451	80.17	80.16%
B3			7.297	1.453	80.09	
B4			7.328	1.448	80.24	
B1			7.471	1.168	84.37	
B2	Agua	40	7.464	1.167	84.36	84.39%
B3			7.515	1.172	84.40	
B4			7.529	1.173	84.42	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 57 se observa la degradabilidad de las muestras al transcurso de los días mientras más días de encuentre las muestras de bioplástico de la cáscara de banano en el agua incrementa el porcentaje de degradabilidad. , como notamos esto, es posible tomando como referencia al peso inicial y el peso después de los días que permaneció en

el agua, notando así cuanto es la degradación obtenida. De igual manera se sacó un porcentaje de degradación de las muestras de bioplástico de la cascara de banano para obtener una degradación promedio.

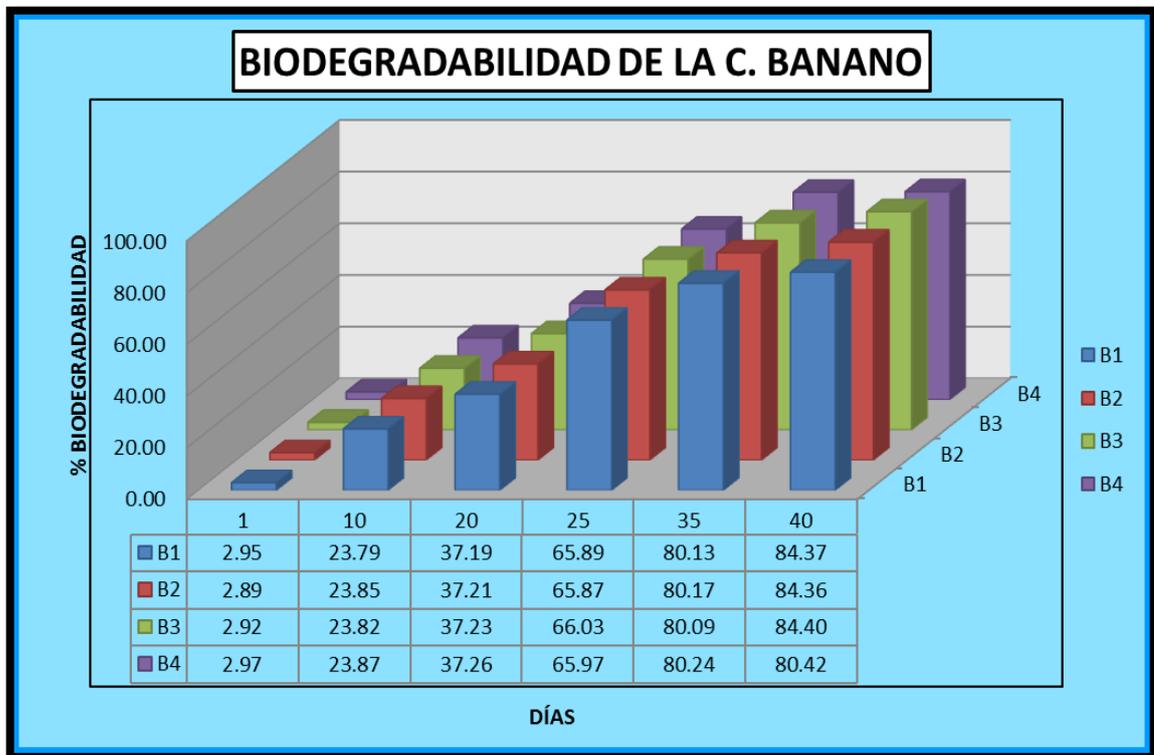


Figura 33: Resultados de la prueba de degradabilidad del bioplástico de la cáscara de banano

La figura 33 representa de forma gráfica la degradabilidad progresiva de la cáscara de banano. Se puede observar como el bioplástico va disminuyendo su volumen al transcurso de los días que permaneció en el agua

- En ambas pruebas de degradabilidad se observa que tanto el bioplástico de la cáscara de plátano y el bioplástico de la cáscara de banano se degradan progresivamente al transcurso de los días lo que indica que ambos bioplásticos son biodegradables.



DISCUSIÓN

El trabajo de investigación del procesamiento de bioplástico está compuesto de las cáscaras de banano y plátano y algunos aditivos que nos dio como resultado para el bioplástico de cáscara de plátano tiene una dureza de 13.980N, una elongación de 21.755% y una flexión de 1.894cm siendo estos los mayores valores obtenidos, y en el caso del bioplástico de cáscara de banano se obtuvo una dureza de 16.532N una elongación de 22.057% y una flexión de 2.132cm siendo estos los mayores valores obtenidos, a diferencia de los valores obtenidos por **Iguardia (2013)** en “síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (musa sapientum variedad cavendish)”, quien obtuvo valores de dureza de 54.29N, elongación de 55.18% y flexión de 1.80cm, cabe recalcar el procedimiento los insumos y la materia prima son diferentes, Iguardia Arrivillaga, (2013) utilizo en la elaboración de este bioplástico la pulpa de plátano y este no estaba maduro lo cual contiene más almidón además de otros insumos como CMC y carbonato de calcio. Así mismo Iguardia Arrivillaga, (2013) obtuvo otros resultados como: dureza de 32.50N, elongación de 28.75% y flexión de 1.76 en este caso utilizó CMC y glicerina para su elaboración.

Por otro lado **Meza (2016)** en “elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio” obtuvo una elongación de 19.99% a diferencia de mis resultados se obtuvo una elongación de 21.755% y 22.057 de bioplástico de cáscara de plátano y banano respectivamente, pero debemos tomar en cuenta que la materia prima para la elaboración del bioplástico es diferente porque está elaborado a base de papa y con otros insumos como el ácido acético.

Así también, **Chariguamán (2015)** en Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis*



spp.) obtuvo una fuerza de perforación de 1.41 hasta 4.65N, y una elongación de 11.7% hasta 27% a diferencia de nuestros resultados de bioplástico de cáscara de banano y plátano que se obtuvo una dureza de 16.532N, elongación de 22.057% y dureza de 13.980N, elongación de 21.755% respectivamente, cabe recalcar que el procedimiento de elaboración, los insumos y la materia prima son diferentes es por esto la variación de los resultados.

Se concluye que los resultados obtenidos del bioplástico elaborado de la cáscara de banano son mayores al bioplástico de cáscara de plátano, se obtuvo una dureza de 16.532N una elongación de 22.057% y una flexión de 2.132cm.



V. CONCLUSIONES

Primeramente se logró extraer de manera eficiente el almidón de las cáscaras de plátano y de banano para la elaboración del bioplástico.

Se demostró que el método de obtención de bioplástico a partir de las cáscaras de plátano y banano más adecuado es el segundo método ya que con el primer método utilizado no se obtuvo el bioplástico deseado porque el bioplástico obtenido presentaba rupturas físicas. En la obtención del bioplástico de cáscara de plátano y banano se trabajó a diferentes temperaturas (150 – 185°C) y tiempos (50 – 80min), en la cual se observó que al aumentar demasiado la temperatura (210°C) se obtuvo un bioplástico quemado, frágil, y sobre todo que perdía su elongación. Sin embargo al trabajar con un peso (26mg), tiempo (70min) y una temperatura (150°C) se obtuvo un bioplástico con buenos resultados tanto para en bioplástico a base de la cáscara de banano y el bioplástico de cáscara de plátano.

Para las pruebas fisicoquímicos (dureza, elongación y flexión) se utilizaron muestras obtenidas del segundo método, en la cual se observó que cuanto mayor era la adición de insumos de: almidón de las cáscaras (61%), glicerol o glicerina (17%), mayor eran los resultados fisicoquímicos. Se trabajó con cuatro muestras para bioplásticos de cáscara de plátano (P1, P2, P3 y P4) y bioplásticos de cáscara de banano (B1, B2, B3 y B4); donde se obtuvo los siguientes resultados: P1 (12.220N, 15.157% y 1.154cm); P2 (13.557N, 20.931% y 1.729cm); P3 (13.980N, 21.755% y 1.894cm); P4 (15.403N, 21.155% y 1.831cm); B1 (13.755N, 15.715% y 1.233cm); B2 (14.752N, 21.757% y 1.854cm); B3 (16.008N, 22.057% y 1.982cm) y B4 (16.532N, 21.104% y 2.132cm). Se logró obtener mejores resultados fisicoquímicos con el bioplástico elaborado de la cáscara de banano dureza, elongación y flexión (16.532N, 22.057% y 2.132cm) respectivamente.



En cuanto a los resultados de la prueba de biodegradabilidad, se demostró que el bioplástico es biodegradable, en el sentido que a medida que el material permanecía en el agua aumentaba el porcentaje (%) de degradación, todo esto se cuantificó utilizando la variación de peso, obtuve como resultado que el bioplástico en el transcurso de 40 días el bioplástico de cáscara de banano y plátano se degradó en un 84.64% y 85.64% respectivamente.

Con esto se confirmó que el bioplástico obtenido es una alternativa en el mercado de los empaques secundarios y así tratar de contribuir a la reducción de la contaminación medio ambiente.



VI. RECOMENDACIONES

- Profundizar la investigación realizar y probar con nuevos insumos para mejorar la calidad del bioplástico.
- Involucrar la investigación de tipo económica para conocer la viabilidad de este tipo de bioplástico.
- Se recomienda utilizar bananos y plátanos verdes ya que estas contienen una mayor cantidad de almidón.
- Se recomienda utilizar equipos más modernos tanto para el moldeo como para el secado.
- Se recomienda realizar la prueba de degradación empleando distintos métodos y así hacer una comparación de resultados para ver cómo se degrada el bioplástico en distintas condiciones al que sea expuesto.
- Seguir con la investigación hasta que el bioplástico se degrade al 100% y determinar el tiempo exacto de degradación.



VII. REFERENCIAS

- Acoplásticos. (2011). *Los plásticos, el medio ambiente y la sociedad*. Colombia: Tecnología del plástico.
- Ángel, C. (2014). *Bioplásticos para embalaje*. México, Xalapa: Revista Veracruzana, 56.
- Arévalo, K. (1996). *Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo*. México.
- Ballesteros, L. V. (2013). Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo. *Colombia, Cartagena*, 22.
- Bejarano, Arana, N. (2014). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada*. Colombia: Revista de Ingeniería Agroindustrial, 63.
- Cadena, F., & Quiroz, F. (2000). *Manual de Reciclaje de Plásticos*. Corporación OIKOS.
- Campos, P., Gonzáles, S., & Reyes, N. (2009). *Bio plásticos utilizados en la agroindustria aplicación en láminas para la germinación de la semilla del pimiento*. Santiago: Universidad de Chile.
- Cárdenas, F. L. (2009). *Estudio del mercado de la cadena del plátano*. Perú.
- Cardona, A. C. (2009). Perspectivas de la producción de Biocombustible en Colombia: contexto latinoamericano y mundial. *Revista de ingeniería*, 120.
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a base de la cáscara del plátano. *Journal of Undergraduate Research*, 4.



- Chariguamán, J. A. (2015). *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón patata*. Quito.
- CIT. (2008). *Degradación de los materiales plásticos*. Argentina: Plastivida.
- Derraik, J. (2002). La contaminación del medio ambiente marino por desechos plásticos. *Boletín de contaminación marina*, 44.
- DGPA, M. . (2014). El banano peruano. 73.
- Donhowe, I. G., & Fennema. (1994). Characteristics, formation definitions and testing methods. *Edible coatings and films to improve food quality*, 24.
- Dulanto, T. A. (2013). *Asignación de competencias en materia de residuos sólidos de ámbito municipal y sus impactos en el ambiente*. Lima.
- ECOEMBES. (2009). *Proyecto de Análisis de Bioplásticos, resumen ejecutivo*.
- FEDIT. (2007). *Bioplásticos. Observatorio industrial del sector químico*.
- Flores, G., García, S., Núñez, M., & González, R. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). *Acta Científica Venezolana*, 90.
- Fritz, H. G., Seidenstucker, T., & Bolz, U. &. (1994). Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. *European Commission*.
- García, Q. A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. El Salvador: ITCA.



- García, Y. (2008). *Elaboración de películas de almidón oxidado de plátano (musa paradisiaca) por extrusión y su caracterización parcial*. Yauatepec Morelos.
- Gómez, C., Cos Blanco, A., & Iglesias, C. (2002). Fibra y nutrición enteral. *Nutrición Hospitalaria*, 40.
- Hernández, Martínez, H. (2013). *Utilización de lignina de olote de maíz como componente en películas a base de almidón*. México: Universidad Iberoamericana.
- I. López, N., A. Ruiz, J., & Pettinari, M. (2004). Bioplásticos. *Una alternativa ecológica*.
- Iguardia, A. C. (2013). *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa sapientum variedad Cavendish)*. Guatemala.
- Intriago Flor, F., & Paz Mejía, S. (2000). *Ensilaje de cáscara de banano maduro con microorganismos eficaces como alternativa de suplemento para ganado de ovino*. Guacímó.
- Jache Chamorro, R. (2014). *Gestión de plásticos en el medio marino*. Cantabria.
- Kester, J. J., & Fennema, O. R. (1986). Edible films and coatings. *Food Technol*, 59.
- Koolman, J., & Röhm laus, H. (2004). Bioquímica Texto y Atlas. *Editorial Panamericana*.
- L.V.M. (2017). Bioplásticos. *Tecnología de alternativas*.
- Landeta, K. (2009). *Proyecto de pre factibilidad para la producción y exportación de chifles a Alemania*.
- López, J., Cuarán, J., Arenas, L., & Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 15.



- Marjadi, D., & Dharaiya, N. (2011). Bioplastic: A Better Alternative for Sustainable. *Search & Research*, 163.
- Meseguer, C. (1983). Medida de potencial de producción de gas metano a partir de la Cascara de Banano maduro. *Costa Rica*, 80.
- Meza, R. P. (2016). *Elaboración de bioplasticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio*. Perú.
- Mónico, M. (2014). *Contaminación e impacto ambiental*. Universidad de Palermo.
- Monsalve, J., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y almidón de yuca. *Universidad de Colombia*, 27.
- Montras, & Vicent. (2002). *Biodegradación y bioplástico*.
- Moreira, C. K. (2013). *Reutilización de residuos de la cáscara de banano (musa paradisiaca) y plátano (musa sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo*. Guayaquil.
- Moreno, G. (2005). *Manual de reciclaje plástico*. Colombia: Soluciones Ambientales.
- Ortiz, R., López, A., Ponchner, S., & Segura, A. (1999). *El cultivo del banano*. San José.
- REDRRSS-PE. (2011). Problemática de los solidos en el Perú. www.redrrss.pe/material/20130104110940, 2.
- REMAR. (2011). *Bioplásticos*. Remar, red de energía y medio ambiente.
- Ruíz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia Universidad EAFIT*, 28.
- Sánchez, R. Y. (2014). *Efecto de la aplicación de coberturas biodegradables y la temperatura sobre el color, firmeza, pérdida de peso y la aceptabilidad general*



en la palta (persea americana mill) variedad fuerte, durante el almacenamiento.

Perú.

SECOFI, S. D. (1985). *Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales muestreo - Método de cuarteo*. México.

Seymour, R., & Carraher, C. (2002). *Introducción a la Química de Polímeros*. Nueva York: Reverté.

Sibaja, G. (1994). Evaluación de la cáscara de banano maduro como material e ensilaje con pasto King grass (*Pennisetum purpureum*). *UCR*, 49.

Soto, M. (1992). Bananos: cultivo y comercialización. *CR, Imprenta*, 674.

Sperling, L. (2006). *Introducción to Physical Polymer Science*. Canada: Jhon Wiley & Sons.

Vázquez, A., Espinosa, R., Beltrán, M., & Velasco, M. (2012). Bioplásticos y plásticos degradables. *Azcapotzalco*, 11.

Zárate, R. S. (2011). *Materiales poliméricos biodegradables preparados mediante procesado termomecánico a partir de mezclas gluten/plastificante*.

ANEXOS

Gráfico : Obtención de bioplástico de la cascara de plátano y banano procedimiento del primer método

		
Cáscara de plátano y banano	Lavado de cáscara de plátano y banano	Verter las cáscaras
		
Secado de la cáscara de plátano y banano	Triturar las cáscara de plátano y banano	Pesado de las cáscaras triturada
		
Almidón	Adición de insumos	Calentamiento
		
Vertido	Secado	Bioplástico

Gráfico : Obtención de bioplástico de la cascara de plátano y banano procedimiento del segundo método

		
Cáscara de plátano y banano	Adición de metabisulfito de sodio	Secado de las cáscaras
		
Almidón de la cáscara de plátano y banano	Medir la cantidad de almidón de la cáscara de plátano y banano	Adición de insumos
		
Vertido	Secado	Bioplástico



Tabla : Normas para la determinación de biodegradabilidad de plásticos

CÓDIGO	NOMBRE
ASTM G21-96	Determinar la resistencia de materiales poliméricos a hongos.
ASTM 5247	Determina la biodegradación anaeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5338 - 98	Determina la biodegradación aeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5988 - 96	Determina la biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o residuos plásticos después de composteo.
ASTM 6002 – 96	Especificación estándares para plásticos de composteo.
ASTM 6400 - 99	Evalúa la posibilidad de composteo de plásticos degradables ambientalmente.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Megalaboratorio y Medio Ambiente



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA

El que suscribe (e) del Megalaboratorio Area Medio Ambiente, UNA-Puno.

HACE CONSTAR:

Que, la señorita, Yulay Naisa HUMPIRI MAMANI, identificada con DNI N° 72077247 de la Facultad de INGENIERÍA QUÍMICA, Escuela profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano con código N° 103209, ha desarrollado su proyecto de investigación titulado, **REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa Cavendish*) y PLATANO (*Musa Paradisiaca*) PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO**, Ha realizado analisis experimental y fisicoquímico (Dureza, flexion, elongacion y degradacion), de fecha abril a junio del año 2017.

Se expide la presente constancia a petición del interesado para los fines que estime por conveniente.



Sc. Martín Choque Yucra
Ciencia Tecnología y Medio ambiente
Megalaboratorio UNA-Puno

Puno, 10 de abril del 2018.