

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Ambiental e Ingeniero Ambiental*

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL POLIMÉRICO
BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS DESECHOS DE LA YUCA POR
ADICIÓN DE AGENTES PLASTIFICANTES**

AUTORES:

DOMÉNICA CAMILA PESANTES MOYANO

ADRIÁN ALBERTO ALBERCA MAXI

TUTOR:

ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, PhD.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Doménica Camila Pesántes Moyano con documento de identificación N° 0105067649 y Adrián Alberto Alberca Maxi con documento de identificación N° 0105823975, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL POLIMÉRICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS DESECHOS DE LA YUCA POR ADICIÓN DE AGENTES PLASTIFICANTES**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental e Ingeniero Ambiental*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos de la obra antes cedida. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril de 2021.



Doménica Camila Pesántes Moyano
C.I. 0107592115



Adrián Alberto Alberca Maxi
C.I. 0105823975

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL POLIMÉRICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS DESECHOS DE LA YUCA POR ADICIÓN DE AGENTES PLASTIFICANTES**, realizado por Doménica Camila Pesántes Moyano y Adrián Alberto Alberca Maxi, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril de 2021.



Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, PhD.

C.I. 0103444923

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Doménica Camila Pesántes Moyano con documento de identificación N° 0105067649 y Adrián Alberto Alberca Maxi con documento de identificación N° 0105823975, autores del trabajo de titulación: **ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL POLIMÉRICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS DESECHOS DE LA YUCA POR ADICIÓN DE AGENTES PLASTIFICANTES**, certificamos que el total contenido del *Trabajo Experimental*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, abril de 2021.



Doménica Camila Pesántes Moyano
C.I. 0107592115



Adrián Alberto Alberca Maxi
C.I. 0105823975

RESUMEN

El presente proyecto realizado en la Universidad Politécnica Salesiana se basó en el aprovechamiento de residuos orgánicos, tales como la cáscara de yuca y los exoesqueletos del camarón, para formar un biopolímero. El método de extracción físico fue usado para el almidón y una extracción química por desacetilación para el quitosano. Se realizó pruebas experimentales dosificativas con adición de plastificantes. Al polímero escogido se le realizó una prueba de dureza, termogravimétrica y biodegradativa cuyos objetivos fueron verificar la calidad del polímero y su posible uso en el mercado de plásticos.

Palabras clave: yuca, almidón, camarón, quitosano, biodegradabilidad, biopolímero.

ABSTRACT

The present project carried out at the Salesian Polytechnic University was based on the use of organic waste, such as cassava shell and shrimp exoskeletons, to form a biopolymer. The physical extraction method was used for the starch and a chemical extraction by deacetylation for the chitosan. Dosing experimental tests were carried out with the addition of plasticizers. The chosen polymer was subjected to a hardness, thermogravimetric and biodegradative test whose objectives were to verify the quality of the polymer and its possible use in the plastics market.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por guiarme en todo momento, a mi madre por ser mi soporte y a mi abuelo que me cuida desde arriba, gracias por no dejarme solo en los momentos difíciles.

Adrián Alberto Alberca Maxi

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos, por el apoyo y la confianza que depositaron en mí. Este logro fue, por y para ustedes.

Doménica Camila Pesántes Moyano

Contenido

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	2
CERTIFICACIÓN.....	3
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	4
Resumen	5
Abstract.....	5
1. Introducción	17
2. Antecedentes	17
3. Justificación.....	19
4. Marco Teórico	21
4.1 Yuca (Manihot Esculente Crantz).....	21
4.2 Almidón	24
4.2.1 Generalidades	24
4.2.2 Propiedades y estructura del almidón.....	25
4.2.3 Obtención del almidón	27
4.2.4 Gelatinización del almidón.....	29
4.2.5 Complejo Iodo-Almidón y su reversibilidad.....	31
4.2.6 Hidrolisis del almidón	31
4.3. Polímeros	32

4.3.1 Generalidades.....	32
4.4 Plastificante.....	35
4.4.1 Glicerina.....	36
4.4.2 Sorbitol.....	37
4.4.3 Propilenglicol.....	37
4.4.4 Alcohol polivinílico.....	38
4.5 Reticulantes.....	39
4.5.1 Quitosano.....	39
4.6 Efectos del plastificante sobre las propiedades del almidón.....	42
4.7 Ensayo Termo-mecánicos.....	43
4.7.1 Ensayo De Dureza.....	43
4.7.2 Análisis TGA.....	43
4.8 Evaluación De Las Generaciones De CO ₂ Por El Biopolímero Escogido.....	44
4.9 Evaluación de viabilidad financiera a escala industrial.....	44
5. Metodología.....	45
5.1 Extracción Del Almidón De Los Residuos De Yuca Mediante El Método Húmedo.....	45
5.2 Propiedades Físico Químicas Del Almidón.....	52
5.2.1 Observación En El Microscopio.....	52
5.2.2 Temperatura De Gelatinización.....	52
5.2.3 Complejo Iodo-Almidón Y Su Reversibilidad.....	52

5.2.4 Hidrólisis Del Almidón	53
5.3 Extracción Del Quitosano Por El Método Químico (Desacetilación)	54
5.4 Gelatinización Del Quitosano	62
5.5 Pruebas Dosificativas De Almidón Y Plastificantes (Glicerol, Sorbitol, Propilenglicol, Alcohol Polivinílico y Quitosano)	63
5.6 Prueba De Biodegradabilidad Del Biopolímero Escogido	66
5.6.4 Carbono Orgánico Total.....	70
5.6.6 Registro fotográfico de la prueba de biodegradación.....	75
5.7 Prueba de dureza.....	75
5.8 Prueba TGA	76
5.9 Evaluar la viabilidad financiera del proyecto a escala industrial mediante indicadores y el Análisis Del Punto De Equilibrio.	77
5.9.1 Punto De Equilibrio Total	78
5.9.2 Punto de equilibrio por unidad.....	82
5.9.3 Indicador VAN.....	82
5.9.4 Indicador TIR	83
6. Resultados y Discusión.....	83
6.1 Extracción Del Almidón Por Método Húmedo	83
6.1.1 Observación al microscopio.....	84
6.1.2 Temperatura de gelatinización	85

	10
6.1.3 Complejo Iodo-Almidón y su reversibilidad.....	86
6.1.4 Hidrólisis del almidón	87
6.2 FTIR de las etapas de producción de quitosano.....	89
6.2.1 Quitosano	92
6.2.2 Determinación del grado de desacetilación del Quitosano	93
6.3 Pruebas dosificativas de biopolímeros.....	94
6.4 Ensayo de dureza	103
6.5 Prueba TGA	104
6.6 Prueba de Biodegradabilidad	106
6.6.1 Carbono orgánico	106
6.6.2 Porcentaje de biodegradación.....	107
6.6.3 Registro fotográfico de biodegradabilidad.....	113
6.7 Evaluar la viabilidad financiera del proyecto a escala industrial mediante indicadores y el análisis del punto de equilibrio.	116
6.7.1 Línea de producción.....	116
6.7.2 Punto de equilibrio	118
6.7.3 Indicador VAN.....	125
6.7.4 Indicador TIR	126
7. Discusión.....	126
8. Conclusiones	132

9. Bibliografía.....	134
10. Apéndice.....	143
10.1 Apéndice A: Registro fotográfico biopelículas	143
10.2 Apéndice B. Evaluación de biodegradabilidad.....	158
10.3 Apéndice C	163
12.4 Apéndice D	165

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Composición de la yuca</i>	23
<i>Tabla 2. Composición de la cáscara de yuca.....</i>	24
<i>Tabla 3. Equipos utilizados.....</i>	46
<i>Tabla 4. Equipos utilizados.....</i>	54
<i>Tabla 5. Reactivos Utilizados.....</i>	57
<i>Tabla 6: Dosificaciones de gel de almidón</i>	63
<i>Tabla 7. Caracterización del suelo</i>	68
<i>Tabla 8. Dimensiones de la muestra</i>	68
<i>Tabla 9. Curva de calibración para el cálculo del Carbono orgánico</i>	71
<i>Tabla 10. Medición de la muestra de suelo.....</i>	72
<i>Tabla 11. Cálculo del carbono orgánico</i>	72
<i>Tabla 12. Parámetros.....</i>	73
<i>Tabla 13. Fórmulas para la prueba de biodegradación</i>	73
<i>Tabla 14. Temperaturas de estudio.....</i>	77
<i>Tabla 15. Maquinaria determinada para el proceso de producción del biopolímero</i>	79
<i>Tabla 16. Salarios fijos</i>	79
<i>Tabla 17. Vista microscópica del almidón de yuca estándar / cáscara de yuca.</i>	85

Tabla 18. <i>Temperatura de gelatinización cáscara de yuca / estándar</i>	85
Tabla 19. <i>Prueba complejo Iodo-almidón y su reversibilidad</i>	87
Tabla 20. <i>Hidrolisis del almidón</i>	88
Tabla 21. <i>Evaluación cuantitativa de las muestras realizadas y dosificaciones</i>	94
Tabla 22. <i>Evaluación cuantitativa de las variantes realizadas con sus dosificaciones</i>	98
Tabla 23. <i>Dosificación de gel de alcohol polivinílico</i>	102
Tabla 24. <i>Resultados obtenidos del ensayo de dureza Shore A</i>	103
Tabla 25. <i>Temperatura de cambio de peso del biopolímero</i>	106
Tabla 26. <i>Variables determinantes para el cálculo del carbono orgánico</i>	107
Tabla 27. <i>Variables determinantes para el cálculo de la capacidad biodegradativa del Biopolímero</i>	107
Tabla 28. <i>Prueba de biodegradabilidad biopolímero N° 53</i>	108
Tabla 29. <i>Fotografías de la degradación periódica del biopolímero</i>	113
Tabla 30. <i>Salarios fijos de la empresa</i>	118
Tabla 31. <i>Maquinaria para la producción de biopolímero</i>	119
Tabla 32. <i>Costos fijos del proyecto</i>	120
Tabla 33. <i>Salarios variables</i>	120
Tabla 34. <i>Consumo aproximado de agua mensual</i>	121
Tabla 35. <i>Insumos para la producción del biopolímero</i>	121
Tabla 36. <i>Costos variables en la producción del biopolímero</i>	122
Tabla 37. <i>Variables determinantes para el cálculo del punto de equilibrio</i>	123
Tabla 38. <i>Punto de equilibrio</i>	123
Tabla 39. <i>Flujo de caja proyectado</i>	125
Tabla 40. <i>Flujo de caja simulado</i>	126
Tabla 41. <i>Tabla de rendimiento</i>	127
Tabla 42. <i>Carbono orgánico</i>	158
Tabla 43. <i>Parámetros</i>	158
Tabla 44. <i>Variables para la evaluación de biodegradabilidad</i>	158
Tabla 45. <i>Prueba de biodegradabilidad</i>	160

<i>Tabla 46. Masa del polímero</i>	164
<i>Tabla 47. Perdida porcentual</i>	164
<i>Tabla 48. Temperatura de cambio de peso del polímero</i>	164
<i>Tabla 49. Variables determinantes para el cálculo de PE</i>	165
<i>Tabla 50. Costos e ingresos</i>	165
<i>Tabla 51. Flujo de caja Año 1</i>	170
<i>Tabla 52. Flujo de caja Año 2</i>	171
<i>Tabla 53. Flujo de caja Año 3</i>	172
<i>Tabla 54. Flujo Año 4</i>	173
<i>Tabla 55. Flujo Año 5</i>	175
<i>Tabla 56. Flujo Año 6</i>	176

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Cantidad de desechos por provincia</i>	19
<i>Figura 2: Componentes de la yuca</i>	23
<i>Figura 3: Estructura de la amilasa</i>	26
<i>Figura 4: Estructura de la amilopectina</i>	27
<i>Figura 5: Diagrama de flujo de la obtención de almidón de yuca</i>	28
<i>Figura 6: Fórmula molecular del agua</i>	31
<i>Figura 7: Clasificación de los polímeros según su fuente</i>	33
<i>Figura 8: Fórmula de la glicerina.</i>	36
<i>Figura 9: Fórmula molecular de sorbitol.</i>	37
<i>Figura 10: Fórmula molecular del propilenglicol</i>	38
<i>Figura 11: Fórmula molecular del alcohol polivinílico.</i>	39
<i>Figura 12: Fórmula molecular del quitosano</i>	40
<i>Figura 13: Triturado de la cáscara de yuca</i>	49
<i>Figura 14: Colado del almidón</i>	50
<i>Figura 15: Sedimentación del almidón</i>	51
<i>Figura 16: Secado del almidón</i>	51

Figura 17: Quitina- Quitosano	58
Figura 18: Despигmentación	59
Figura 19: Desmineralización	60
Figura 20: Desproteinizaci3n	61
Figura 21: Desacetilaci3n	62
Figura 22: Gelatinizaci3n del quitosano	62
Figura 23: Acondicionamiento de la prueba de biodegradabilidad	66
Figura 24: Colocado de muestra	69
Figura 25: Calibraci3n de la curva para el c3lculo del carbono org3nico	71
Figura 26: Funci3n de intersecci3n	72
Figura 27: Funci3n pendiente	72
Figura 29: Extracci3n del Almid3n	83
Figura 30: Comparaci3n de almid3n de yuca industrial y almid3n obtenido de la c3scara de yuca	89
Figura 31: Espectro de c3scara de camar3n como materia prima	90
Figura 32: Espectro de c3scara de camar3n desmineralizada	91
Figura 33: Espectro de c3scara de camar3n desproteinizada (quitina)	91
Figura 34: Espectro de quitosano	92
Figura 35: Distribuci3n de los puntos valorados en la prueba de dureza	103
Figura 36: Ensayo de dureza del pol3mero elegido	104
Figura 37: Termogr3ma de la biop3lcuла de residuos de yuca con agentes plastificantes	104
Figura 38: Gramos de CO ₂ producido por las muestras (PI)	109
Figura 39: Gramos de CO ₂ del blanco.	110
Figura 40: Porcentaje de CO ₂ producido PI.	111
Figura 41: Porcentaje de biodegradaci3n	111
Figura 42: Biodegradaci3n acumulada	112
Figura 43: L3nea de producci3n del almid3n	116
Figura 44: L3nea de producci3n del quitosano	117
Figura 45: L3nea de producci3n del biopol3mero	117

<i>Figura 46: Punto de equilibrio</i>	125
<i>Figura 47: Dosificación Muestra #0</i>	143
<i>Figura 48: Dosificación Muestra #1</i>	144
<i>Figura 49: Dosificación Muestra #2</i>	144
<i>Figura 50: Dosificación Muestra #3</i>	144
<i>Figura 51: Dosificación Muestra #4</i>	144
<i>Figura 52: Dosificación Muestra #5</i>	145
<i>Figura 53: Dosificación Muestra #6</i>	145
<i>Figura 54: Dosificación Muestra #7</i>	145
<i>Figura 55: Dosificación Muestra #8</i>	146
<i>Figura 56: Dosificación Muestra #9</i>	146
<i>Figura 57: Dosificación Muestra #10</i>	146
<i>Figura 58: Dosificación Muestra #11</i>	146
<i>Figura 59: Dosificación Muestra #12</i>	147
<i>Figura 60: Dosificación Muestra #13</i>	147
<i>Figura 61: Dosificación Muestra #14</i>	147
<i>Figura 62: Dosificación Muestra #15</i>	147
<i>Figura 63: Dosificación Muestra #16</i>	148
<i>Figura 64: Dosificación Muestra #17</i>	148
<i>Figura 65: Dosificación Muestra #18</i>	148
<i>Figura 66: Dosificación Muestra #19</i>	148
<i>Figura 67: Dosificación Muestra #20</i>	149
<i>Figura 68: Dosificación Muestra #21</i>	149
<i>Figura 69: Dosificación Muestra #22</i>	149
<i>Figura 70: Dosificación Muestra #23</i>	149
<i>Figura 71: Dosificación Muestra #24</i>	150
<i>Figura 72: Dosificación Muestra #25</i>	150
<i>Figura 73: Dosificación Muestra #26</i>	150

Figura 74: Dosificación Muestra #27.....	150
Figura 75: Dosificación Muestra #28.....	151
Figura 76: Dosificación Muestra #29.....	151
Figura 77: Dosificación Muestra #30.....	151
Figura 78: Dosificación Muestra #31.....	151
Figura 79: Dosificación Muestra #32.....	152
Figura 80: Dosificación Muestra #33.....	152
Figura 81: Dosificación Muestra #34.....	152
Figura 82: Dosificación Muestra #35.....	152
Figura 83: Dosificación Muestra #36.....	153
Figura 84: Dosificación Muestra #37.....	153
Figura 85: Dosificación Muestra #38.....	153
Figura 86: Dosificación Muestra #39.....	153
Figura 87: Dosificación Muestra #40.....	154
Figura 88: Dosificación Muestra #41.....	154
Figura 89: Dosificación Muestra #42.....	154
Figura 90: Dosificación Muestra #43.....	154
Figura 91: Dosificación Muestra #44.....	155
Figura 92: Dosificación Muestra #45.....	155
Figura 93: Dosificación Muestra #46.....	155
Figura 94: Dosificación Muestra #47.....	155
Figura 95: Dosificación Muestra #48.....	156
Figura 96: Dosificación Muestra #49.....	156
Figura 97: Dosificación Muestra #50.....	156
Figura 98: Dosificación Muestra #51.....	156
Figura 99: Dosificación Muestra #52.....	157
Figura 100: Dosificación Muestra #53.....	157

1. Introducción

La conservación del medio ambiente produce intranquilidad en la sociedad, esto ha incitado el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden a introducir al mercado nuevos materiales eco-amigables como por ejemplo los biopolímeros provenientes de recursos renovables de origen natural. (Ruiz, 2006)

El presente proyecto tiene como finalidad producir un biopolímero en base a residuos de yuca y cáscaras de camarón con acción de agentes plastificantes, el mismo que tiene como fin reemplazar los plásticos de un solo uso. Para cumplir el objetivo general del proyecto, en primer lugar, se realizó pruebas de dosificaciones con el objetivo de producir un polímero con características aplicables en la industria, en segundo lugar, el biopolímero se sometió a una prueba de dureza para determinar la resistencia del mismo, además se realizó una prueba termogravimétrica, para esta evaluación una muestra fue enviada a los laboratorios de evaluación de materiales de la ESPOL, también, se determinó una prueba de biodegradabilidad, y como último punto se analizó la viabilidad financiera del proyecto a escala industrial mediante el uso del punto de equilibrio e indicadores económicos. Este proyecto en su mayoría fue realizado en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana en el Campus El Vecino perteneciente a la ciudad de Cuenca Ecuador.

2. Antecedentes

La producción de plástico ha superado prácticamente a todos los materiales, comenzando en la década de los años 50, productos que están diseñados, en su gran mayoría para ser desechados tras su posterior uso. Como consecuencia, alrededor de la mitad de los residuos plásticos en el mundo están representados por los envases plásticos; y únicamente el 9% de los nueve mil millones de toneladas de plástico han sido reciclados. Una gran

cantidad de esta acaba en vertederos, basureros o en el ambiente. Lo que da como proyección para el año 2050 existirá aproximadamente 12 mil millones de toneladas de basura plástica en los vertederos y en el ambiente si no se modifica el patrón de consumo. (ONU, 2018)

En el Ecuador, de las más de 4.100.000 toneladas de residuos que son producidos cada año, el 11% corresponde a plástico. En el informe de las Naciones Unidas sobre la cantidad plástico estima que más de 9500 toneladas de polímeros no degradables se vierten en el océano al año (Martínez-Ortiz et al., 2015).

La creciente contaminación por materiales derivados de recursos no renovables ha generado que, en estos últimos siglos, la elaboración de productos sustitutos y menos contaminantes sea cada vez mayor. Muchos estudios se han centrado en disminuir las consecuencias negativas del uso del plástico, entre las cuales se destaca alterar la composición de un polímero acelerando su proceso de degradación, incluso utilizar otros productos similares como nuevas alternativas, es así como nacen los bioplásticos. El bioplástico es un material sustituto del plástico, producto de la evolución de este último, tiene la finalidad de disminuir las desventajas que trae la producción del polímero común al medio ambiente y a la humanidad. El material biodegradable, se obtiene principalmente utilizando recursos renovables. Existen distintos tipos de plásticos poliméricos como: polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos a partir de microorganismos. (Pacheco, 2014)

La demanda tanto de investigación, como de producción de los biopolímeros está en auge, los datos recientes demuestran que la demanda superará a 300 millones de toneladas en el año 2015, teniendo un crecimiento superior a los plásticos convencionales a base de petróleo; dentro de estos tenemos, el almidón de yuca y el quitosano objeto de este estudio

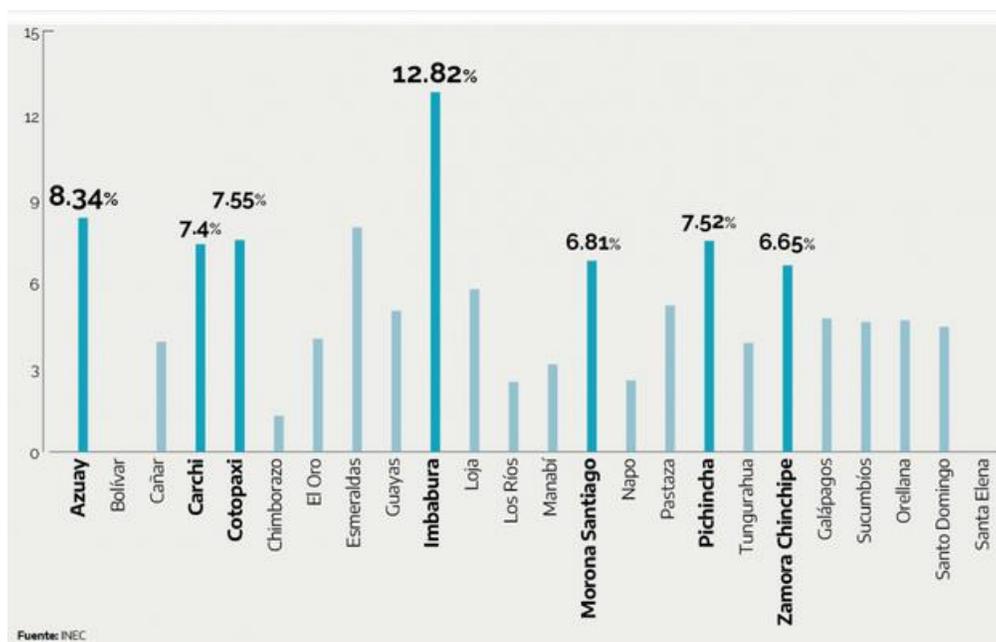
para elaborar bioempaques, tomada en cuenta como alternativa importante, por la disponibilidad y acceso.(Paola Navia & Samuel Villada, 2013)

3. Justificación

Según los últimos datos del INEC revisados en el Plan V en el 2018, los ecuatorianos arrojaron aproximadamente 13 000 toneladas de basura diaria, de ellas, el 11,43% es plástico. Eso representa una cantidad de cerca de medio millón de toneladas anuales desechadas por los ecuatorianos.

Los datos del INEC también brindan pistas sobre las regiones y provincias que más residuos producen tal como lo indica la **figura 1**. Por ejemplo, Las provincias de la Sierra son las que más bolsas de plástico desechables consumen.

Figura 1: Cantidad de desechos por provincia



Tomado de: (INEC, 2018)

Como caso especial, en Galápagos más del 90% de los residuos que se recolectan no son de las actividades de la Isla en sí, sino residuos que llegan de Sudamérica, Centroamérica e incluso una gran cantidad de residuos de marcas asiáticas (El Comercio, 2019).

Según un informe de El Mercurio (2019), realizado por el "Día del Medio Ambiente" se recolectaron residuos en los principales ríos de Cuenca. En el río Yanuncay se recolectaron 0,75 toneladas. Los desechos principalmente llega por los canales de la ciudad de Cuenca, otros en menor cantidad de Azogues, Gualaceo, Chodeleg y Paute de basura; en el río Tomebamba, 1,1 toneladas; en el río Tarqui, 1,2 toneladas; en el río Machángara, 1,5 toneladas de basura fueron retiradas por Cuenca, Azogues, Paute, Chordeleg y Gualaceo.

Los residuos son trasladados por los ríos ya mencionados hasta la represa de Mazar. Acumulado en sus bordes se encuentran residuos orgánicos tanto animales como vegetales y residuos inorgánicos como fundas de plástico, botellas, ropa, entre otros. Tanto las botellas de plástico como las fundas se microfragmentan afectando a especies que viven en los ríos y en los mares, según estudios, los plásticos de uso solo uso tienen un tiempo de degradación entre 150 a 500 años (El Mercurio, 2019).

La industria del polímero sintético posee números enormes sobre residuos plásticos que contaminan los mares y causan un gran desequilibrio ecológico, por esta y más razones las industrias de producción de polímeros de un solo uso se deben regular, razón por la cual el Gobierno Descentralizado del Azuay con la ordenanza "Ordenanza Provincial de Política Pública Ambiental para la Regulación del Plástico de un Solo Uso en la Provincia del Azuay" intenta controlar el crecimiento de los residuos plásticos que consume la Provincia. Dicha ordenanza expresa que para la industria del plástico existirá un plazo progresivo para eliminar el uso de fundas de polietileno de alta densidad proponiendo un material 100% reciclable o con la implementación de tecnologías que produzcan fundas a partir de material orgánico.

Esta ordenanza crea oportunidades para que las tecnologías limpias comiencen a ganar terreno en el mercado de plásticos de un solo uso, fomentando la creación de empresas eco-amigables, ofreciendo oportunidades de trabajo y frenando el impacto que tiene los plásticos en el ecosistema terrestre.

Debido a este problema que afecta a la provincia y al Ecuador, es urgente elaborar un proyecto que genere un nuevo biopolímero a partir de recursos renovables y con un ciclo de vida corto, poner en marcha un plan para frenar el consumo excesivo del plástico convencional.

4. Marco Teórico

4.1 Yuca (*Manihot Esculente Crantz*)

4.1.1 Origen

La yuca utilizada en el proyecto pertenece a la familia Euphorbiaceae que se encuentra constituida aproximadamente por unas 7200 especies. La Yuca (*Manihot esculente Crantz*) tiene origen en la cuenca del Amazonas en la parte oriental del Ecuador, aunque en la Costa ecuatoriana sus condiciones climáticas la hacen las indicadas para su crecimiento. En su familia se encuentran diferentes tipos especies como por ejemplo: arbóreos, arbustos, malezas, medicinales dentro del género (Aristizabal & Sánchez, 2007).

Su desarrollo es el indicado, cuando el entorno tiene como características: precipitaciones entre de 750 mm a 3 000 mm, temperaturas entre de 25° a 27°C, suelos franco ligeros con un pH de 5 a 8. Los lugares adecuados para su desarrollo se presentan en la parte norte y central de Brasil, la parte sur de México y en la región occidental de Bolivia después del descubrimiento de América la yuca se extendió a otros continentes (Muñoz et al., 2017).

4.1.2 Producción global, nacional y local

La producción de yuca tiene como primer exportador a Nigeria con una producción de 44 millones de toneladas, seguida por Brasil con 26 millones de toneladas, Tailandia con 25 millones de toneladas, Indonesia con 21 millones de toneladas, República del Congo con 15 millones de toneladas, Camerún con 15 millones de toneladas y Ghana con 11 millones de toneladas, siendo los principales países productores de mandioca (J. Hernández, 2011).

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es considerada como un producto esencial en la alimentación de un ecuatoriano, además se utiliza como materia prima para diferentes industrias como la textil, cartoneras, balanceados y también como materia de exportación. En el país, la yuca, es un cultivo tradicional de los indígenas en la Amazonía. Así como también, los montubios siembran en la Costa y en los valles bajos de la Sierra (Muñoz et al., 2017).

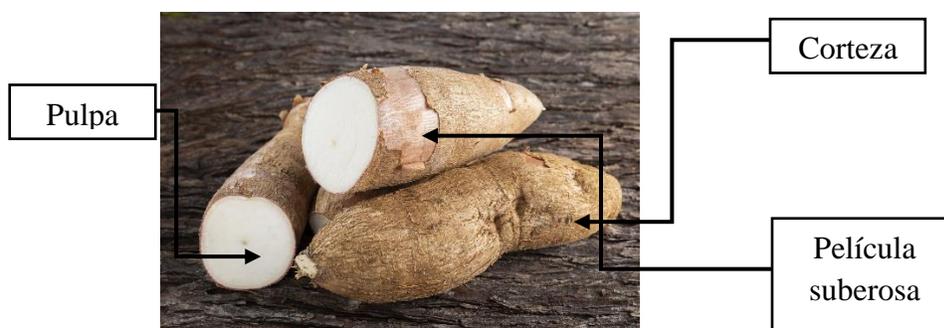
El cultivo de la yuca en el Ecuador está catalogado como transitorio, representa un 15,76% de superficie de uso agropecuario, la yuca representa el 1,77% de producción nacional. Las principales provincias ecuatorianas productoras de yuca son: Zamora Chinchipe, Napo, Pastaza, Santo Domingo de los Tsáchilas y Morona Santiago (INEC, 2014). En el Azuay, la producción de yuca es minoritaria posee una producción de 101,58 Tm; muy por debajo de la principal productora de yuca que es la provincia de Morona Santiago con una producción de 17 253 toneladas (Muñoz et al., 2017).

4.1.3 Composición química y nutricional

Composición nutricional: Según Knowles & et al. (2012), en su estudio, la composición nutricional de la yuca en (g/100 g) de materia seca es un 87,8^e gr. de almidón, 3.6^e gr. de fibra y un 6,8 gr. de otros componentes.

Composición química: La corteza de la yuca representa un porcentaje entre un 12% y 20% de todo el tubérculo, la película suberosa es un recubrimiento de la pulpa que representa hasta un 2% de la raíz y la pulpa la cual está formado por 2 elementos: las células parenquimatosas y los vasos leñosos, cada una de estas partes de las puede observar en la **figura 2** (Azueta et al., 2013). Al examinar la **tabla 1** se refleja el valor predominante de la composición de la yuca, el cual es el total de sólidos con un promedio de 35.2% del peso de la yuca.

Figura 2: Componentes de la yuca



Tomado de: (Agkam Strategies, 2011)

Tabla 1. Composición de la yuca

Composición	Valores extremos %	Promedio %
Sólidos totales	24.2-51.7	35.2
Proteína cruda	0.9-6.1	3.5
Grasa cruda	0.4-1.0	0.7

Fibra cruda	2.0-7.3	3.9
Material mineral	2.4-4.0	3.2
Extracto libre de nitrógeno(por diferencia)	83.8-92.0	88.2
HCN ppm(estado natural)	23-345	152

Nota: Esta tabla indica la composición química de una yuca con sus valores extremos y promedios. *Tomado de:* (I. Tejada & Brambila, 2010)

En un estudio realizado en la Universidad de Cartagena donde se aprovechó las cáscaras de yuca y ñame para el tratamiento de aguas contaminadas con plomo, se realizó un análisis elemental de las cáscaras de yuca, el mismo que esta expresado en la **tabla 2**.

Tabla 2. Composición de la cáscara de yuca

Composición	Porcentaje %
Carbono	36.96
Hidrogeno	3.98
Nitrógeno	0.26
Azufre	0.12
Cenizas	1.58
Pectina	2.84
Lignina	2.20
Celulosa	18.47
Hemicelulosa	6.01

Tomado de: (C. Tejada et al., 2016)

4.2 Almidón

4.2.1 Generalidades

El almidón es un polímero natural, se obtiene de varias plantas. Se encuentra semillas como la del maíz, trigo, arroz; en tubérculos como la papa, yuca, batata; en leguminosas

como lentejas, frijoles, guisantes; frutas como bananas, manzanas, tomates y en troncos como palma sago y hojas de tabaco. La yuca posee un alto contenido en almidón, en comparación con otras fuentes. Debido a esto lo convierte en un cultivo de importancia industrial, además es un cultivo rico en calorías. (Aristizabal & Sánchez, 2007).

El almidón de yuca sirve como base para la producción de un biopolímero, materia prima, con la cual se puede fabricar bolsas para recolectar residuos orgánicos, el cual tiene la capacidad de degradarse junto con la materia orgánica que al descomponerse produce abono que sirve como fertilizante para los suelos (Ruiz, 2006).

La clasificación del almidón de yuca se divide en 2 tipos: almidón nativo y almidón agrio. Se llama nativo al almidón que no es sometido a ningún proceso de fermentación, en cambio el almidón agrio es sometido a procesos de fermentación, sus propiedades obtenidas luego del proceso fermentativo le otorgan características utilizadas en la repostería, entre otros (Meneses et al., 2007).

4.2.2 Propiedades y estructura del almidón

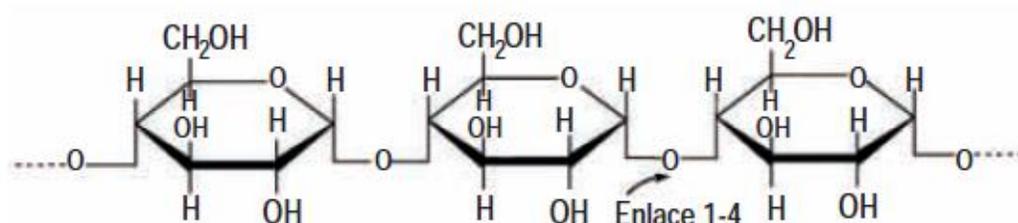
El almidón como polímero natural consiste en gránulos con estructuras macromoleculares ordenadas y cuyas propiedades como composición, forma y cantidad depende del tipo de fuente de obtención. El almidón está compuesto por capas internas de amilosa y capas externas de amilopectina. Es un polisacárido formado por unidades glucosídicas (Aristizabal & Sánchez, 2007).

Se caracterizan por su ramificación o su grado de polimerización los cuales intervienen directamente en procesos degradativos. El tamaño de los granos de almidón determina la relación de proporción de amilosa/amilopectina. Las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón vienen determinadas por el grado de polimerización y el

contenido de amilosa. Se refiere con grado de polimerización al número total de residuos de anhidroglucosa dividido por número total de terminales reducidos. (Meneses et al., 2007).

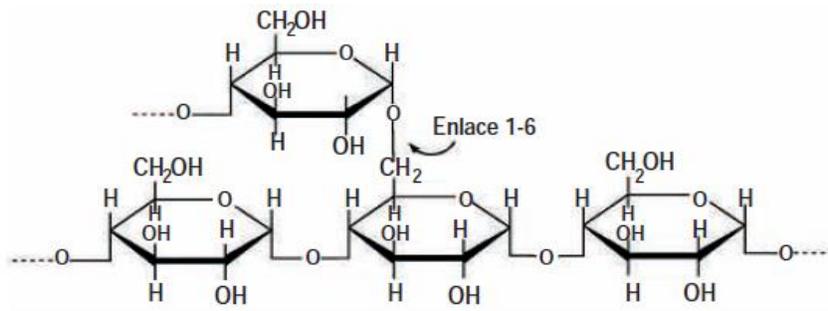
Amilosa: La amilosa son moléculas de capas interiores que componen al almidón, compuestas por enlaces glucosídicos que unen a moléculas de glucosa, formando unas cadenas en forma de hélice. Al poseer cadenas enrolladas, al tener una longitud promedio y al tener considerables separaciones entre moléculas forman películas con fibras fuertes elásticas que pueden ser comparadas con la celulosa. La amilosa cuando se encuentra en agua y a altas temperaturas se disuelve. El peso molecular de la amilosa va de (0.1 a 1 millón)g/mol y el peso molecular de la amilopectina está entre (10.000 a 1.000 millones)g/mol (García, 2015). La amilosa es una molécula de almidón lineal que está formada por muchos anillos de glucosa conectados entre sí para formar una cadena larga y recta esto se puede apreciar de una mejor manera en la **figura 3**.

Figura 3: Estructura de la amilasa



Tomado de: (Aristizabal & Sánchez, 2007)

Amilopectina: La amilopectina se ubica en las capas superiores del almidón a diferencia de la amilosa, estas moléculas, poseen enlaces glicosídicos. Las moléculas de amilopectina son considerablemente mayores que las moléculas de amilosa, se encuentra en un rango de 10 000 a 20 000 000 unidades de glucosa (García, 2015). La amilopectina es un polisacárido diferente de la amilosa porque contiene ramas que hacen que su forma molecular se parezca a la forma de un árbol, tal como se puede percibir en la **figura 4**.

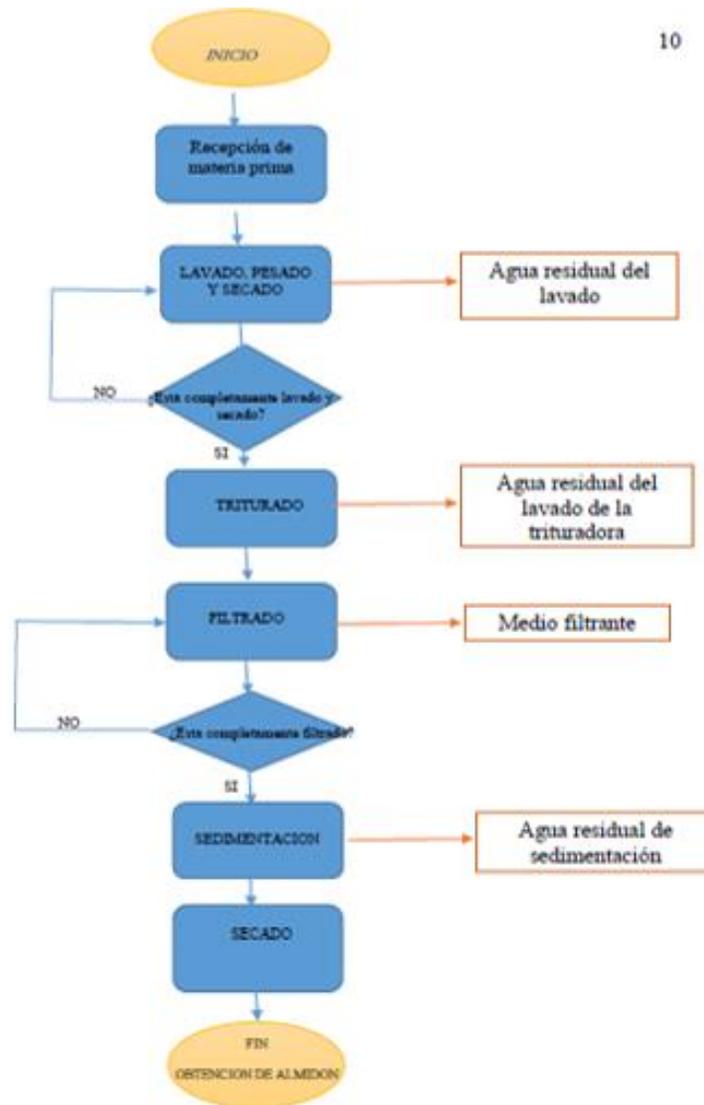
Figura 4: Estructura de la amilopectina

Tomado de: (Aristizabal & Sánchez, 2007)

4.2.3 Obtención del almidón

La extracción del almidón varía dependiendo de las tecnologías que se apliquen para su obtención. Existen diferentes procesos de obtención que se clasifican en: artesanal, mediante equipos mecanizados y otras tecnologías más modernas. La concentración de almidón será más eficaz, a medida que se mejore la tecnología. En esta etapa se seguirá la guía general para la extracción de almidón de yuca, con sus debidas variantes para cada desecho (Aristizabal & Sánchez, 2007). Las etapas se describirán a continuación en el diagrama de flujo de la **figura 5**:

Figura 5: Diagrama de flujo de la obtención de almidón de yuca



Realizado por: Autores

Según Aristizabal & Sánchez, (2007) en sus estudios los procesos usados para la extracción del almidón son los siguientes:

Recepción de la materia prima: en esta fase del proceso, se pasará por una selección de las cáscaras de los residuos de la yuca que tengan buenas propiedades y sin procesos degradativos. Los residuos serán transportados desde su origen hasta la zona de recepción determinada, en un periodo de 24-48 horas para evitar el deterioro físico y/o microbiano.

Lavado: Posteriormente se procede a retirar la tierra de los residuos de yuca con ayuda de utensilios adecuados para la limpieza.

Secado y pesado: La siguiente etapa es dejar reposar las cáscaras a temperatura ambiente para luego pesar lo necesario de cada muestra.

Triturado: Una vez que las películas suberosas hayan sido pesadas, se proceden a juntarlas con agua para ser licuadas y ser filtradas por un cernidor de plástico.

Filtrado: La mezcla triturada se coloca en un medio filtrante y el proceso de filtración se realiza tantas veces como sea necesario para obtener agua de lavado transparente como producto final del proceso.

Sedimentación o deshidratación: Las partículas de almidón se separarán de la suspensión en el agua por sedimentación, es decir que las partículas de almidón por su peso irán al fondo del recipiente.

Secado: Dependiendo de la tecnología utilizada, se puede realizar un secado solar o artificial. Independientemente del método que se utilice, intentará eliminar la humedad del almidón.

Acondicionamiento: Finalmente, el almidón obtenido se envasa y se coloca en un lugar fresco entre (18-22) °C.

4.2.4 Gelatinización del almidón

El almidón pierde cristalinidad en presencia de altas temperaturas y con altas cantidades de agua. Los gránulos de almidón se hinchan al estar en solución acuosa y en altas temperaturas. Estos pierden propiedades como la semicristalinidad y a temperaturas elevadas forman un gel (Ruiz, 2006).

El rango donde ocurre la gelatinización varía dependiendo la fuente del almidón, va de temperaturas comprendidas entre (67-70) °C. La estructura del almidón se fragmenta casi

por completo debido a que el desenrollado de las hélices pierde cristalinidad. El aumento de volumen de los gránulos produce un aumento en su viscosidad, esto hasta la fragmentación total de los gránulos, al llegar a la total desintegración se produce un decrecimiento de la viscosidad.

Cuando las concentraciones de almidón son altas se produce un almidón termoplástico, mientras más rigidez exista se da una mayor resistencia debido a la colisión de los gránulos (Meneses et al., 2007).

Calentamiento: A medida que los gránulos de almidón incrementan estos pierden su propiedad de insolubilidad. El proceso de hinchamiento puede ser reversible. Los gránulos presentan resistencia debido a su composición y cristalinidad, la gelatinización es un proceso endotérmico, al final de este proceso se forma una pasta estructurada con cadenas de amilosa de bajo peso molecular (Charro, 2015).

Retrogradación: Después de la gelatinización cuando el almidón se encuentre a temperatura ambiente comienza el proceso de enfriamiento que genera la retrogradación. La retrogradación es una restructuración de los puentes de hidrógeno y reorientación de las cadenas moleculares, pierde solubilidad en agua fría.

Al cambio de las propiedades como la rigidez de cadenas, entrecruzamiento de cadenas, presencia de cristales, incremento de secciones amorfas, entre otras se define como temperatura de transición vítrea. (Meneses et al., 2007).

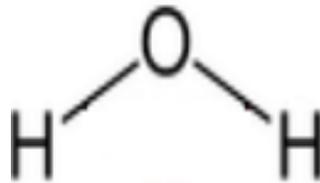
Desestructuración: Es la transformación de los granos de almidón semicristalinos en una matriz homogénea de polímero sin forma, esto sucede cuando se rompen los puentes de hidrógeno entre moléculas de almidón y la despolimerización parcial. Los factores fisicoquímicos que intervienen en el proceso son: esfuerzo cortante, temperatura, tiempo de residencia, velocidad de cizalladura, contenido de agua y la cantidad total de energía. En una

prueba de difracción de rayos X se observa que disminuye la viscosidad o aumenta la solubilidad el almidón en solución después de la extrusión. Esto debido a la polimerización de cadenas moleculares dispuestas en forma desordenada (Ruiz, 2006).

4.2.4.1 Agua destilada

Comúnmente usada para gelatinizar el almidón debido a precio y eficiencia, mejora las propiedades mecánicas y de barrera. Es usada para realizar la desestructuración del almidón para obtener almidones termoplásticos. El agua destilada se obtiene como producto de la destilación, eliminando cloruros, calcio, magnesio y fluoruros. (Charro, 2015). Su fórmula química es H_2O y su fórmula molecular está plasmada en la **figura 6**:

Figura 6: Fórmula molecular del agua



Tomado de: (Charro, 2015)

4.2.5 Complejo Iodo-Almidón y su reversibilidad

Para determinar la presencia o modificación de almidón se usa la prueba de complejo yodo-almidón y su reversibilidad, estos en solución acuosa producen una reacción púrpura, esta prueba se da como resultado de la formación de cadenas de poliyoduro. (Amaya, 2018).

4.2.6 Hidrolisis del almidón

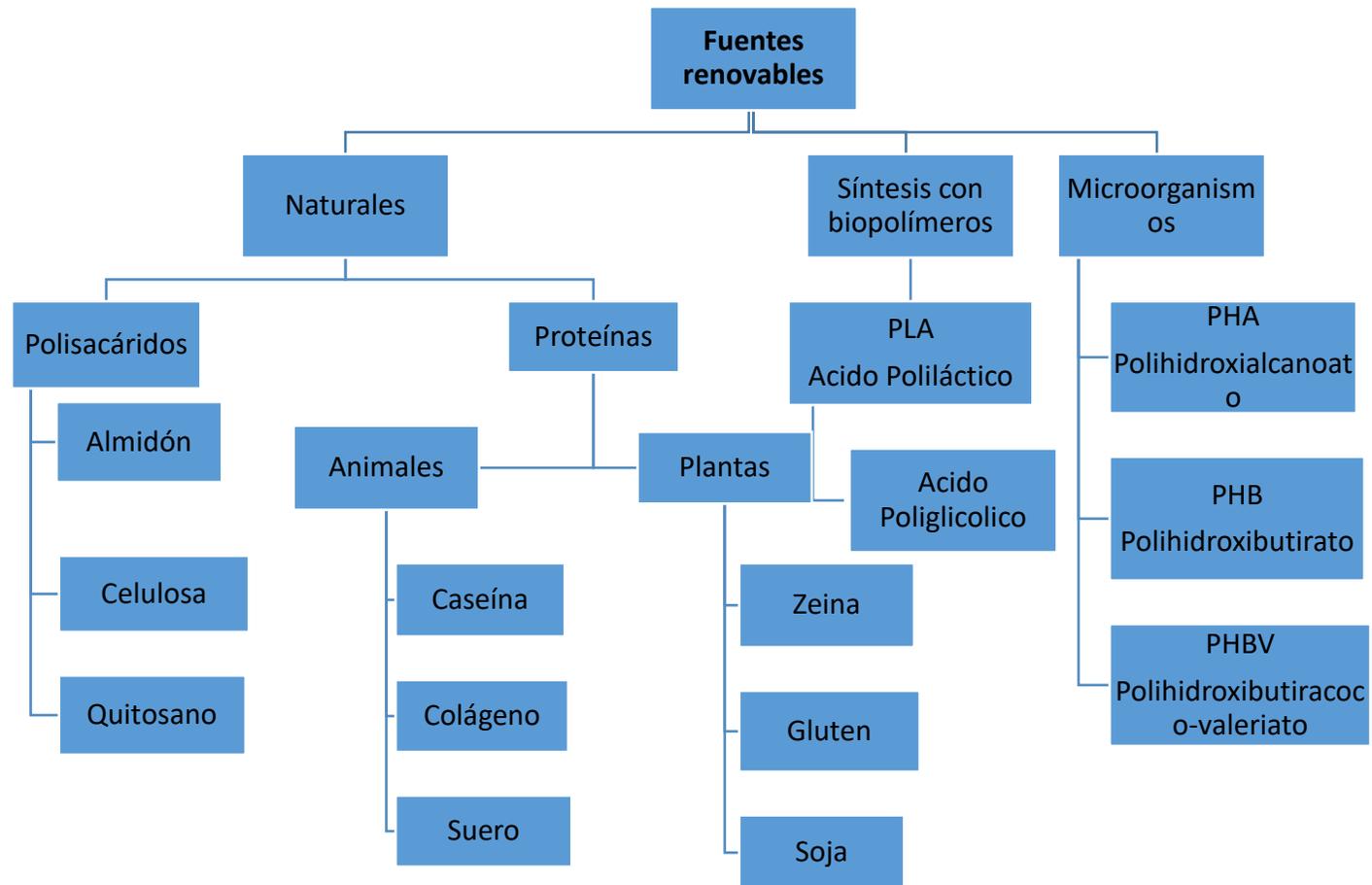
La ruptura de enlaces químicos se ve catalizada por el ácido prótico a través de la reacción de sustitución nucleófila esto por adición de agua. Un ejemplo de tal reacción es la conversión de celulosa o almidón en glucosa (T. Rodríguez, s. f.).

4.3.Polímeros

4.3.1 Generalidades

Caracterizados por tener unidades que se repiten en toda la molécula los polímeros son un conjunto de macromoléculas. Las pequeñas moléculas se combinan para formar monómeros a través de un proceso llamado polimerización. Unidades constituyentes o poliméricas son denominadas a las moléculas que se repiten en el polímero. En un determinado polímero, si todas las unidades estructurales son iguales, se llama homopolímero, pero si proviene de dos o más monómeros, se llama copolímero (F. López, 2005). Las fuentes renovables son aquellas fuentes de energía que se basan en la explotación de recursos naturales como el sol, el agua, el viento o la biomasa vegetal o animal (APPA, 2020). En la **figura 7** se puede observar la clasificación de los polímeros por su fuente. Estas se dividen en fuentes naturales, por síntesis de biopolímeros y por microorganismos.

Figura 7: Clasificación de los polímeros según su fuente



Realizado por: Autores

Los polisacáridos son carbohidratos que se definen como largas moléculas de hidratos de carbono formadas por la unión de numerosas unidades individuales de monosacáridos unidas entre sí por enlaces glicosídicos entre algunos ejemplos tenemos al almidón, celulosa, quitosano (Micocci, 2018).

Las proteínas que forman parte de la clasificación de las fuentes naturales denominadas así porque son biomoléculas formadas por carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno. Además, pueden contener azufre y en algunos tipos de proteínas también podemos encontrar fósforo, hierro, magnesio y cobre se divide en proteína vegetal y proteína animal como ejemplo de proteína vegetal tenemos zeína, gluten y soja; y la proteína animal sustancias como caseína, colágeno suero (Luque Guillen, 2011).

Por otra parte, los polímeros por síntesis con biopolímeros son el PLA o ácido poliláctico puede producirse por fermentación de carbohidratos renovables y por síntesis química, para la producción de este ácido se usan bioprocesos fermentativos ecológicos utilizando fuentes renovables. La polimerización del ácido láctico da lugar a polímeros de PLA que, con otras moléculas poliméricas naturales permiten la obtención de productos biodegradables (Murilla & Carracedo, 2005).

El ácido poliglicólico es un polímero del ácido glicólico que son cristales translúcidos, incoloros, higroscópicos prácticamente inodoros, que se apelmazan con facilidad (Farmaquímica, 2015).

Además, otra fuente de producción de biopolímeros son los microorganismos entre los más conocidos tenemos al polihidroxialcanoato que es un biopoliéster sintetizado intracelularmente por microorganismos especializados con almacenamiento de energía y carbono que al ser extraídos de la célula presentan propiedades físicas parecidas a los plásticos. El PHA es biodegradable se acumula como polímero líquido, móvil y amorfo en

forma de gránulos que se alojan en el citoplasma microbiano rodeados de una capa de fosfolípidos que poseen enzimas despolimerasas y polimerasas (C. Rodríguez & Lemus, 2017).

Bajo el nombre de PHAs están actualmente unas 90 especies de polímeros, el más estudiado es el PHB un homopolímero donde sus unidades monoméricas están en configuración D(-) debido a la estereoespecificidad de las enzimas involucradas en la síntesis, siendo un polímero altamente cristalino (Barbosa et al., 2005).

El Polihidroxi butiracoco-valeriato conocido como PHBV, es un polihidroxi alcanoato con propiedades biodegradables, no tóxico, biocompatible es un plástico producido por bacterias y una buena alternativa. Es un polímero alifático lineal, se obtiene por la copolimerización de ácido 3-hidroxi butanoico y ácido 3-hidroxi pentanoico. PHBV se utiliza en empaquetado, dispositivos ortopédicos y en la liberación controlada de fármacos (Rivera & Serrano, 2018).

4.4 Plastificante

Según la norma ASTM D-883, el plastificante es un material que se ha incorporado a los plásticos para facilitar su manejo y mejorar su flexibilidad. La adición de plastificantes puede reducir la viscosidad de fusión, el módulo elástico y la temperatura de transición vítrea de los plásticos.

Los plastificantes son moléculas de bajo peso molecular y baja volatilidad que pueden cambiar la estructura tridimensional de las proteínas. (Fernández & Ruiz, 2016b), que se agregan al polímero compatible para mejorar la fluidez, simplificando así el proceso de procesamiento y reduciendo la fragilidad del producto (Vanegas Hinojosa, 2014). Los plastificantes son conocidos por su "eficacia". La eficiencia se expresa como la cantidad de

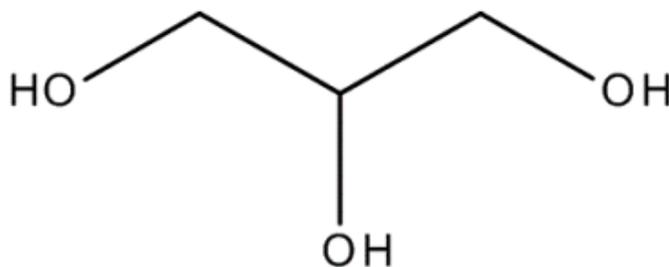
plastificante necesaria para lograr ciertas propiedades. Cuanto mayor sea la eficiencia, menor será la cantidad de plastificante requerida. (Romero, 2018)

4.4.1 Glicerina

La glicerina es un triol con un peso molecular de 92,09 g/mol, obtenido como subproducto de la saponificación de grasas, también como resultado intermedio de la fermentación alcohólica. Se encuentra de forma líquida a temperatura ambiente de 25 °C y es higroscópico e inodoro. (Batvani, 2015)

Este plastificante se ha convertido en el plastificante más utilizado dentro de la industria de polímeros, por su buena eficiencia plastificante, amplia disponibilidad y costos accesibles. En la **figura 8** se muestra la estructura molecular básica de la glicerina, donde están presentes grupos funcionales hidroxilos, lo que incide en el desempeño que proporciona este tipo de plastificante. Por avances en la investigación, se considera como plastificante idóneo, debido a que reduce las fuerzas intermoleculares al aumentar la movilidad de las cadenas de biopolímeros y por tener la capacidad de reducir la energía superficial en soluciones acuosas. (Vanegas Hinojosa, 2014)

Figura 8: Fórmula de la glicerina.

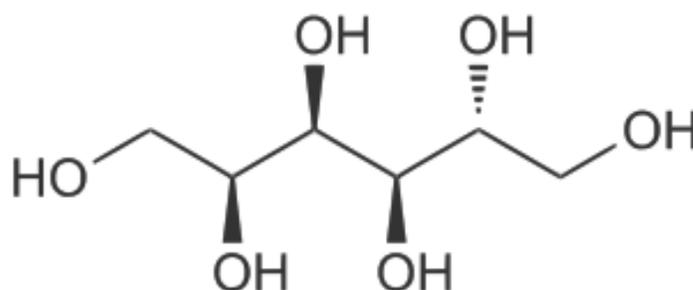


Tomado de: (Fernández & Ruiz, 2016b)

4.4.2 Sorbitol

El sorbitol es un compuesto de 6 carbonos conectado a 6 hidroxilos en su estructura molecular, evidenciada en la **figura 9**, con peso molecular de 152 g/mol y constante dieléctrica de 33,5 (Palma, 2016). Debido a su estructura, este plastificante tiene una excelente capacidad para interactuar con las moléculas de almidón, provocando disminución en la movilidad de las cadenas formando la matriz de películas y, a su vez, reduciendo la interrelación con el agua. (Shimazu et al., 2007)

Figura 9: Fórmula molecular de sorbitol.



Tomado de: (Palma, 2016)

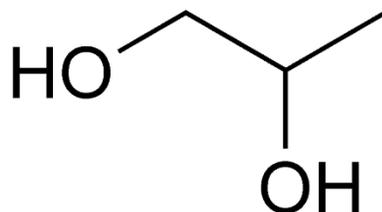
4.4.3 Propilenglicol

Este plastificante fue introducido a la industria en 1957 por la empresa Hoescht AG y a partir de ese momento la producción del mismo ha incrementado considerablemente debido a sus múltiples aplicaciones gracias a sus propiedades con las que cuenta. Entre sus principales características se encuentran: baja densidad, alta resistencia al impacto, alta rigidez, gran dureza, estabilidad dimensional, alta resistencia superficial y buena resistencia química a la humedad y al calor, absorbe poca agua (Galvis, 2014).

El propilenglicol o propano-1,2-diol, es un compuesto orgánico (un alcohol, más precisamente un diol), con un peso molecular 76,09 g/mol, graficada su fórmula molecular en la **figura 10**, el cual se obtiene por la hidratación del óxido de propileno (*Ficha técnica*

propilenglicol, 2020). Se lo puede encontrar en estado líquido oleoso, es incoloro , casi inodoro con pH entre 6 -8 es hidrosoluble (Carlos Alvarez, 2016).

Figura 10: Fórmula molecular del propilenglicol.



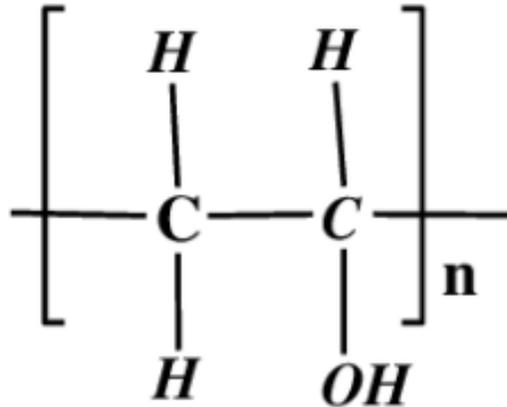
Tomado de: (Arias et al., 2013)

4.4.4 Alcohol polivinílico

El alcohol polivinílico (PVA por sus siglas en inglés) se encuentra comercialmente de forma sólida. El PVA forma un coloide reversible en contacto con agua caliente, y al contrario en agua fría es torna insoluble. Su viscosidad se debe a la presencia de grupos acetatos (E. Hernández et al., 2007). Es un polímero sintético cristalino hidrosoluble, que ha sido ampliamente usado en la preparación de mezclas y compuestos con varios polímeros renovables, además que aporta con importantes propiedades físicas, las cuales se hacen presentes por la existencia de grupos OH y su formación de puentes de hidrógeno, obteniendo la formula molecular expuesta en la **figura 11**. Algunas de las propiedades físicas con las que aporta el alcohol polivinílico son: resistencia a la tracción, flexibilidad, forma barrera superior al oxígeno y sencilla conformación de películas, biocompatible, no toxico. (Vanegas Hinojosa, 2014)

El PVA es compuesto fácilmente degradable por la acción del medio ambiente. Su rápida capacidad degradativa, hace que sea un plastificante llamativo para las industrias en la actualidad, pudiendo ser aplicado en la fabricación de cubiertos, entre otros (Charro, 2015).

Figura 11: Fórmula molecular del alcohol polivinílico.



Tomado de: (Anwer et al., 2018)

4.5 Reticulantes

Según la INEN NTE 2636 la acción que realizan los reticulantes es la transformación de las propiedades físicas por medio de reacciones intercatenarias formando un polímero tridimensional.

Un reticulante realiza un vínculo que une un polímero de una cadena a otra, formando enlaces covalentes o enlaces iónicos, denominándose a esta actividad como entrecruzamiento. Las cadenas poliméricas pueden ser polímeros de origen natural o sintético (Charro, 2015).

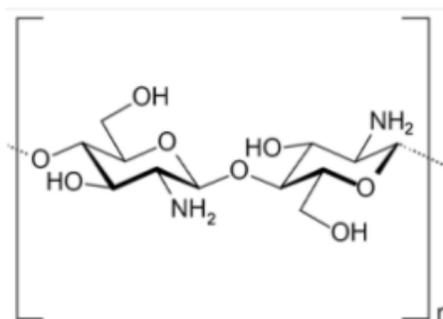
4.5.1 Quitosano

Uno reticulante ampliamente estudiado es el quitosano. El quitosano es un copolímero aleatorio con una fracción molar DA (grado de acetilación) de β - (1 \rightarrow 4) - N - acetil- d -glucosamina y una fracción (1-DA) de β - (1 \rightarrow 4) - d -glucosamina, esta estructura se puede observar en la **figura 12**. Se obtiene por desacetilación de la quitina, por cada unidad de glucosa del quitosano tiene un grupo amino primario y dos grupos hidroxilo libres, que reaccionan con muchos aniones polivalentes para formar un hidrogel. Es conocido por sus

excelentes propiedades formadoras de película y su actividad antimicrobiana y fúngica. La película de quitosano se puede utilizar para vendajes de heridas, reparación de tejidos y envasado de alimentos. El quitosano se considera una base débil, soluble en soluciones ácidas (pH <6,5), pero insoluble en agua y disolventes orgánicos.

(Younes & Rinaudo, 2015)

Figura 12: Fórmula molecular del quitosano.



Tomado de:(Younes & Rinaudo, 2015)

Los métodos químicos se utilizan ampliamente con fines comerciales debido a su bajo costo e idoneidad para la producción en masa. (Bautista-Baños et al., 2017)

4.5.2. Extracción Química Del Quitosano

Despigmentación. Es un proceso que consiste en la eliminación de pigmentos como astaxantina, cantaxantina, luteína y el β caroteno que dan la coloración al exoesqueleto de los camarones. Para este procedimiento se utiliza solventes como como acetona, cloroformo, etanol, o agentes oxidantes tradicionales como soluciones diluidas de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) o hipoclorito de sodio (NaClO). (Vanegas Hinojosa, 2014)

Desproteínización química. La finalidad de este procedimiento es eliminar los restos de proteína que pudo estar dentro de la materia prima. Se ha probado una amplia gama de productos químicos como reactivos de desproteínización, incluidos NaOH, Na₂CO₃,

NaHCO₃, KOH, K₂CO₃, Ca(OH)₂, Na₂SO₃, NaHSO₃, CaHSO₃, Na₃PO₄ y Na₂S. En cada estudio, las condiciones de reacción varían mucho, sin embargo, el NaOH es el reactivo preferido y se aplica a una concentración de 0,125 a 5,0 M, temperatura variable (hasta 160 °C) y duración del tratamiento (de unos pocos minutos que podría variar hasta días). Además de la desproteización, el uso de NaOH provoca la desacetilación parcial de la quitina y la hidrólisis de los biopolímeros, reduciendo así su peso molecular. (Younes & Rinaudo, 2015)

Desmineralización química. El objetivo de la desmineralización consiste en la eliminación de minerales, principalmente carbonato de calcio. Este proceso se realiza generalmente mediante tratamiento ácido eliminar empleando ácidos como nítrico, acético, sulfúrico o clorhídrico (HCl) a temperatura ambiente, siendo este último el más utilizado (hasta 10% p / v) a temperatura ambiente, durante 2 a 3 h con agitación (Vanegas Hinojosa, 2014). La desmineralización se logra fácilmente debido a que implica la transformación del carbonato de calcio en las sales de calcio solubles en agua con la liberación de dióxido de carbono como se muestra en la siguiente ecuación:



El resto de minerales presentes en la materia prima reaccionan de manera similar y dan como resultado sales solubles en presencia de ácido. Posterior a eso son eliminadas mediante lavado y se filtra la quitina obtenida (fase sólida, insoluble). (Younes & Rinaudo, 2015).

Desacetilación química. Desde un punto de vista químico, se pueden usar ácidos o álcalis para desacetilar la quitina. La *N*-desacetilación de la quitina se realiza de forma heterogénea u homogénea. Por lo general, en el método heterogéneo, la quitina se trata con una solución concentrada caliente de NaOH durante algunas horas y el quitosano se produce como un residuo insoluble desacetilado hasta ~85% -99%. De acuerdo con el método

homogéneo, la quitina alcalina se prepara después de la dispersión de quitina en NaOH concentrado (30 g de NaOH / 45 g de H₂O / 3 g de quitina) a 25 ° C durante 3 h o más, seguido de disolución en hielo triturado alrededor de 0°C. ° C. Este método da como resultado un quitosano soluble con un grado medio de acetilación del 48% al 55%.

4.5.3 Grado de desacetilación del quitosano

El grado de acetilación refleja el equilibrio entre los dos residuos, lo que distingue a la quitina del quitosano. En el proceso de desacetilación, se elimina el grupo acetilo, pero se produce una reacción de despolimerización, que está representada por el cambio en el peso molecular del quitosano. El grado de acetilación del quitosano se expresa mediante la fracción molar de unidades de N-acetilación (DA) o el porcentaje de acetilación (DA%).(Younes & Rinaudo, 2015)

4.6 Efectos del plastificante sobre las propiedades del almidón

El almidón termoplástico se puede obtener a partir del almidón natural triturando los gránulos de almidón y plastificándolos. Este proceso ocurre al romper los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de almidón al transformar las partículas en materiales homogéneos. Y se forma un enlace de hidrógeno entre el plastificante y las moléculas añadidas del almidón. La plastificación se puede llevar a cabo en un proceso continuo calentando en presencia de un plastificante adecuado, tal como extrusión para obtener una fase fundida uniforme. El grado de gelatinización depende del contenido y el tipo de plastificante y de los parámetros de procesamiento como el esfuerzo cortante, la viscosidad de la masa fundida, el tiempo de procesamiento y la temperatura.(Vanegas Hinojosa, 2014)

4.7 Ensayo termo-mecánicos

Ensayo que permiten evaluar el comportamiento mecánico de materiales de sólidos, líquidos y materiales pastosos, sometidos a un esfuerzo de tracción en función de la temperatura y/o tiempo.(Poma, 2017)

4.7.1 Ensayo de dureza

Debido a que la prueba es fácil de realizar con un equipo muy simple y portátil, se usa ampliamente. Para controlar la uniformidad de los datos obtenidos, se deben tomar muestras del mismo lote, porque los valores de dureza de diferentes productos de caucho variarán. Para medir la dureza Shore se utilizan varias escalas: Shore A, B, C, D, 0 y 00. La escala Shore A es la forma más conveniente de medir la dureza del caucho blando (hasta 90 grados), mientras que la escala Shore D se utiliza para medir la dureza del caucho con una dureza superior a 90 grados. Aproximadamente 40 grados Shore D corresponden a 90 grados Shore A. (Hernan & Manosalvas, 2011)

4.7.2 Análisis TGA

Según la definición, el análisis térmico se refiere a la medición de cambios físicos o químicos en una sustancia con respecto a la temperatura, bajo una atmósfera y temperatura controlada. Esta tecnología proporciona la determinación de la composición del material. Es un método analítico de uso común en las industrias química y farmacéutica. El análisis termogravimétrico (TGA) se realiza en polímeros, alimentos, productos farmacéuticos y muchos otros materiales. En el análisis termogravimétrico, se registra continuamente el aumento o la disminución de masa de la muestra colocada en el crisol con respecto a la muestra de referencia. El horno se calienta a una temperatura controlada a través de un flujo de fluido controlado de acuerdo con la temperatura o el tiempo de aumento de temperatura.(Fernández & Ruiz, 2016a)

4.8 Evaluación de las generaciones de CO₂ por el biopolímero escogido.

La norma ASTM D-5488-94D define la biodegradabilidad como la capacidad que tiene un material para descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa. El mecanismo principal es la acción enzimática de los microorganismos, que se puede medir en un período de tiempo especificado a través de la norma pruebas Reflejar las condiciones de eliminación disponibles. La capacidad inherente del material se degrada por la acción natural de los microorganismos (bacterias, hongos, algas), obteniendo así paulatinamente una estructura más simple. Esta sustancia se convierte en dióxido de carbono, agua y / o metano y biomasa rápidamente. (Vanegas Hinojosa, 2014)

- Descomposición aeróbica (con oxígeno): $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Sales minerales} + \text{biomasa}$
- Descomposición anaeróbica (sin oxígeno): $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{Sales minerales} + \text{biomasa}$

4.8.1 Carbono orgánico

El COS, carbono orgánico del suelo, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo relacionadas con él: calidad, sostenibilidad y productividad. El carbono en el suelo puede existir en formas orgánicas e inorgánicas. La cantidad total de carbono orgánico almacenado en el suelo ha sido estimada por varios métodos y su profundidad es cercana a los 1.500 picogramo a 1 microgramo. (Martínez et al., 2008)

4.9 Evaluación de viabilidad financiera a escala industrial

La evaluación financiera del proyecto incluye el análisis de la asignación de recursos para determinar las ventajas y desventajas esperadas de la fase de implementación. En la parte económico-financiera, la evaluación se basa en los beneficios y costos generados por el proyecto y la comparación con otros proyectos que puedan ser factibles. La formulación y

evaluación de proyectos suele ser una tarea interdisciplinaria y participan tres tipos de agentes: patrocinadores, técnicos e inversores.(Loja & Muñoz, 2013)

5. Metodología

Los procedimientos se llevaron a cabo en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en la provincia del Azuay en la ciudad de Cuenca. Los equipos utilizados para los procedimientos pertenecen a la Universidad Politécnica Salesiana.

Los residuos de yuca y las cáscaras de camarón se recolectaron de restaurantes ubicados en el sector Yanuncay. La glicerina, el sorbitol, el alcohol polivinílico y el propilenglicol que se usaron como plastificantes para el biopolímero fueron conseguidos en el Comercio “Freire Mejía” al igual que el etanol y el ácido acético usados para la extracción de quitosano de los exoesqueletos de camarón. El hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico por ser reactivos controlados fueron proporcionados por la Universidad Politécnica Salesiana, estos se usaron para la extracción química del quitosano.

5.1 Extracción del almidón de los residuos de yuca mediante el método húmedo.

Los equipos utilizados para la extracción del almidón se encuentran descritos en la siguiente **tabla 3**:

Tabla 3. Equipos utilizados

EQUIPOS	
Heavy Duty Blender	
Uso:	Trituración de los residuos de yuca
Modelo:	CB15
Serie:	587483
Marca:	Waring
Estufa	
Uso:	Secado del almidón
Modelo:	IN75
Serie:	*0314.0232
Marca:	MEMMERT.IN75
Molino	
Uso:	Trituración del almidón
Modelo:	Polymix PX-MFC90
Serie:	35031002
Marca:	Kinematica



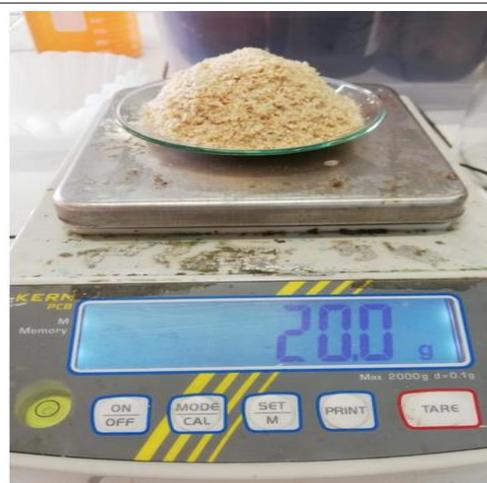
Microscopio

Uso:	Observación de los gránulos de almidón
Modelo:	3330323021
Serie:	S/M
Marca:	Boeco Germany



Balanza

Uso:	Pesaje de los residuos de yuca
Modelo:	ML204
Serie:	B117134551
Marca:	Mettler Toledo



Espectrofotómetro Infrarojo

Uso:	Observación de la estructura del almidón
Modelo:	Nicolet IS10
Serie:	S/S
Marca:	Termo Scientific



Realizado por: Autores

La extracción del almidón se realizó siguiendo el proceso estipulado en el boletín de la FAO (Aristizabal & Sánchez, 2007) en el cual comprende los siguientes procesos:

5.1.1 Separación de los residuos de yuca

Se excluyó los residuos de yuca con características degradativas altas, se retiró la tierra y la corteza café de la yuca. Se separó la película suberosa y restos de pulpa de los desechos, todo esto para mejorar la calidad del almidón obtenido (**figura 13**).

Figura 13: Separación de los residuos de yuca



Realizado por: Autores

5.1.2 Lavado De Los Residuos De Yuca

Se eliminó la tierra e impurezas adheridas a la cáscara, además se retiró la cascarilla procurando dejar el material lo más claro posible en este proceso se perdió de 2% a 3% del peso. El resultado del lavado fue tal y como se lo muestra la **figura 14**.

Figura 14: Lavado de las cáscaras de yuca



Realizado por: Autores

5.1.3 Rallado o desintegración

En este proceso se liberó los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces de la yuca para garantizar la efectiva separación de los gránulos de almidón de la yuca se determinó un tiempo de 1 minuto con 25 segundos para este proceso. En la **figura 13** se evidencia el proceso de triturado en la licuadora.

Figura 13: Triturado de la cáscara de yuca



Realizado por: Autores

5.1.4 Colado o extracción

En esta etapa se realizó la extracción de la pulpa o del material fibroso de la lechada de almidón. Para evitar que las partículas de fibra pasen a la lechada se utilizó un tamiz de muselina. En la **figura 14** se puede demostrar el proceso donde, con ayuda una espátula se realizó el colado hasta que reste solo el bagazo de la cáscara de yuca.

Figura 14: Colado del almidón



Realizado por: Autores

5.1.5 Sedimentación

En este proceso se separó el almidón de la solución de agua por sedimentación durante 2 horas en estado de reposo. En la **figura 15** indica cómo se encuentra la lechada justo al finalizar el proceso de colado.

Figura 15: Sedimentación del almidón



Realizado por: Autores

5.1.6 Secado

Para este proceso se utilizó la estufa de la universidad a 65°C durante 6 horas, al retirar el almidón se procedió a triturar en el molino de marca Polymix PX-MFC90 a una granulometría de 0.01 mm para realizar una homogeneización final y preparar el producto para la realización del biopolímero. En la **figura 16** se reconoce el almidón húmedo antes de entrar a la estufa (proceso de secado).

Figura 16: Secado del almidón



Realizado por: Autores

5.2 Propiedades físico químicas del almidón

5.2.1 Observación en el microscopio

La prueba se basó en una revisión de (Sánchez et al., 2013) donde mediante el uso de lugol con ioduro de potasio en solución con agua, produjo que los gránulos de almidón sean visibles; esta prueba se realizó con el almidón obtenido a base de residuos de yuca y también con un almidón estándar, esto con el fin de asegurar que el producto obtenido es almidón. Para la visualización de los gránulos de almidón se utilizó un microscopio Boeco Germany.

5.2.2 Temperatura de gelatinización

Se preparó una solución de 1 gramo de almidón con 100 ml de agua y se llevó a la hornilla con el fin de proporcionarle calor, esto provocó que una parte del almidón se solubilice quedando otra parte insoluble. La parte insoluble aumentó de tamaño formando una esfera elástica convirtiéndose en un gel de almidón. Se anotó el tiempo en el que tanto el almidón estándar y el almidón a base de residuos de yuca llegaron a su punto de gelatinización. La temperatura de gelatinización del almidón de yuca teórica es 70°C (M. Hernández et al., 2008).

5.2.3 Complejo Iodo-Almidón y su reversibilidad

Para la prueba de complejo yodo-almidón se preparó una solución de almidón y agua al 5%. A la solución de almidón se le extrajo 5 ml y se colocó en un tubo de ensayo después se agregó 3 gotas de yodo al 0.1 N. Al tubo de ensayo se le expuso al fuego. Como paso final se anotó el tiempo necesario para que el color desaparezca por completo después al mismo tubo se lo puso en agua fría, también se registró el tiempo en el que el color vuelve aparecer (García, 2016).

De la solución de yodo-almidón al 5% se vertió 25 ml en un vaso de precipitado con el debido equipo de protección se colocó 10 gotas de HCL concentrado en agitación

constante. Como paso siguiente se tomó una gota de la solución de yodo-almidón con HCl concentrado y se colocó en un portaobjetos, se numeró 10 tubos de ensayo y en el tubo #1 se colocó 3 gotas de la solución de yodo-almidón con HCl concentrado. El color azul de la solución en el tubo #1 y en el portaobjetos indica una reacción positiva entre el yodo y el almidón. Se tomó el vaso de precipitado con la solución y se llevó a la hornilla hasta que hierva, se tomó un poco de la misma solución y se agregó una gota en el portaobjetos #2 y tres gotas en el tubo #2. Y se observa, si la reacción es positiva o negativa (García, 2016).

Para el tubo #3 a la solución se la hizo hervir 2 minutos, este proceso se repitió con cada tubo numerado hasta que la solución de yodo-almidón con HCl concentrado de como resultado negativo, es decir que la solución adquiriera un color rojo ladrillo, al llegar a este punto se le agregó 3 gotas de la solución de Fehling a todos los tubos de ensayo necesarios para llegar a una reacción negativa. En un vaso se vertió agua destilada y se colocó los tubos de ensayo a baño María al llegar al hervor, se dejó 5 minutos más, después se los extrajo del vaso y se colocó en la gradilla según su numeración (Amaya, 2018).

La finalidad de este proceso es evidenciar la cantidad de precipitado de óxido de color rojo ladrillo en los tubos de ensayo esta prueba se realizó en base a la investigación de Amaya (2018), en el “Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico”.

5.2.4 Hidrólisis del almidón

En este proceso se pudo evidenciar por observación la descomposición del almidón en azúcares reductores esto a partir de la prueba de complejo yodo-almidón y su reversibilidad, se tomó en cuenta que mientras más hidrolizado este el almidón la presencia de azúcares reductores será mayor y la reacción se tornará completamente negativa (Bernal et al., 2017).

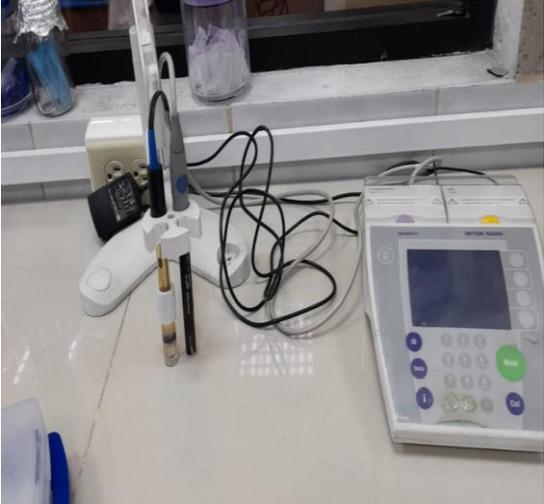
5.3 Extracción Del Quitosano Por El Método Químico (Desacetilación)

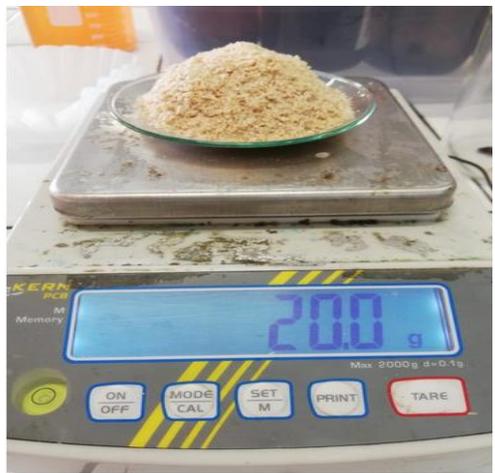
Los equipos utilizados para la extracción del quitosano son los siguientes:

Tabla 4. Equipos utilizados.

Equipos utilizados	
Estufa	
Uso:	Secado(Despigmentación, desmineralización, desproteínización, desacetilación)
Modelo:	IN75
Serie:	*0314.0232
Marca:	MEMMERT.IN75
	
Heating magnetic Stirrer (Agitador magnético)	
Uso:	Agitación(despigmentación, desmineralización, desproteínización, desacetilación)
Modelo:	F20510100
Serie:	203945
Marca:	VELP Scientifica
	
Sistema de filtración al vacío (bomba de vacío)	
Uso:	Lavado(despigmentación, desmineralización, desproteínización, desacetilación)

Modelo:	DOIII-P704-HA3	
Serie:	3,111 ⁹	
Marca:	Gast	
Cabina de Extracción		
Uso:	Preparación de las soluciones de KOH AL 50%, HCL 1 M	
Modelo:	EFB-4A2	
Serie:	2011-59029	
Marca:	ESCO FRONTIER Junior 1.2 m.	
Molino		
Uso:	Trituración de la cascara de camarón y el quitosano	
Modelo:	Polymix PX-MFC90	
Serie:	35031002	
Marca:	Kinematica	
Potenciómetro		
Uso:	Chequeo del nivel de pH en los procesos de, desmineralización,	

	desproteínización, desacetilación.	
Modelo:	Seven Multi	
Serie:	1232025003	
Marca:	Seven Multi	

	Balanza	
Uso:	Pesaje del producto de la despigmentación, desmineralización, desproteínización, desacetilación.	
Modelo:	ML204	
Serie:	B117134551	
Marca:	Mettler Toledo	

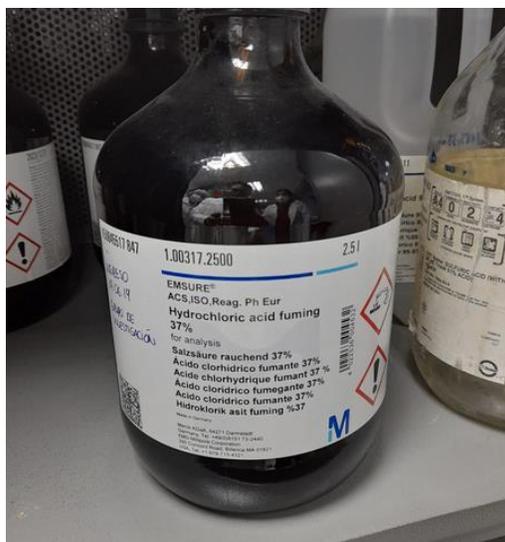
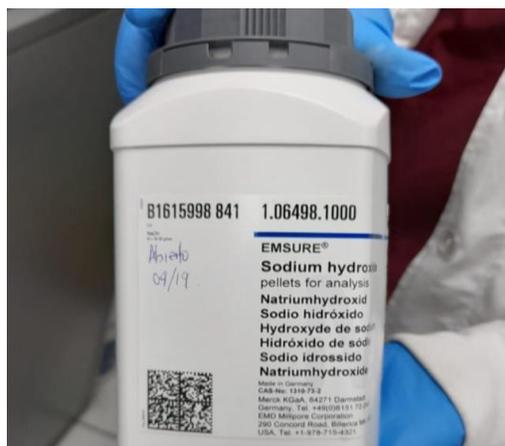
	Espectrofotómetro	
Uso:	Observación de la estructura del producto de los procesos de despigmentación, desmineralización, desproteínización, desacetilación.	
Modelo:	Nicolet IS10	
Serie:	S/S	
Marca:	Termo Scientific	

Realizado por: Autores

Los reactivos utilizados para la extracción química del quitosano son los siguientes:

Tabla 5. Reactivos Utilizados

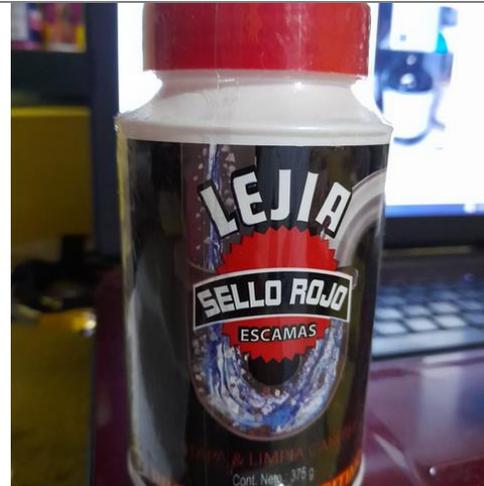
Reactivos usados para la desacetilación de quitosano	
Hidróxido de sodio	
Sodium hydroxide pellets for analysis EMSURE®ISO	
Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone:+49 6151 72-0	
Uso:	Solución al 50% usada en la desacetilación del quitosano
Corrosivo con metales, Category 1, corrosion en la piel, Category 1A, H314	
Ácido Clorhídrico	
Hydrochloric acid fuming 37% for analysis EMSURE®ACS, ISO, Reag. Ph Eur	
Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone:+49 6151 72-0	
Uso:	Solución al 1M usada en la desmineralización de la cáscara de camarón
Corrosivo ocn metles, Category 1, H290 Skin corrosion, Category 1B ataca organos blanco Category 3, Sistema respiratorio	
Lejía	
Hidróxido de sodio, Cloruro de sodio y Acido tricloro Isocianúrico	



MEINFORTE S.A

Uso: Solución usada en la desproteínización de la cáscara de camarón

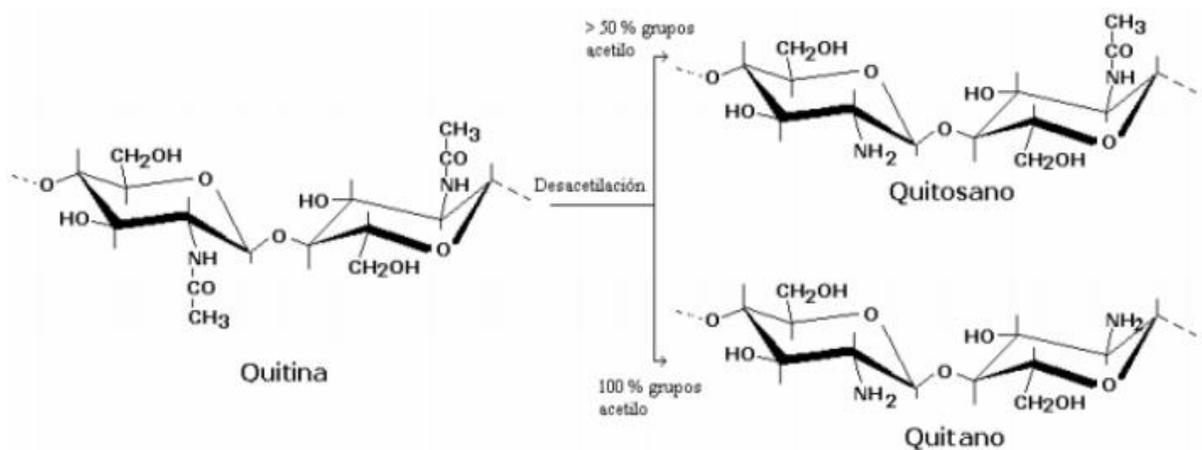
Altamente toxico, corrosivos ojos/piel



Realizado por: Autores

Para el procesamiento de quitosano se basó en la metodología de (Giraldo, 2015), en la cual usa la extracción química del Quitosano mediante el proceso de desacetilación en la cual se preparó la cáscara de camarón para la respectiva eliminación de sus proteínas y minerales, a continuación se describe las etapas de procesamiento de los exoesqueletos del camarón para su transformación en Quitosano. En la **figura 17** se puede inquirir las moléculas de quitina y quitosano.

Figura 17: Quitina- Quitosano



Tomado de: (Velásquez, 2006)

5.3.1 Preparación de los exoesqueletos de camarón

La recolección de cáscaras de camarón fue de marisquerías del sector Yanuncay, luego se procedió al descarnado para luego ser lavado tenazmente, el siguiente paso fue llevar los exoesqueletos a su respectiva trituración que constó de dos fases: trituración en líquido y seco; para la trituración en líquido se utilizó una licuadora industrial donde por cada 1 kg se mezcló con 3 litros de agua destilada, el exoesqueleto triturado se llevó a secar a la estufa a 65°C durante 6 horas, para luego utilizar un molino con un tamiz de 0,1 mm, a partir de este punto comienza la transformación fisicoquímica de la cascara de camarón, la cual fue sometida a los siguientes procesos químicos:

5.3.2 Despigmentación

Los exoesqueletos del camarón poseen un pigmento llamado astaxantina, es un carotenoide de color naranja que según estudios de Giraldo (2015), es soluble en varios éteres y alcoholes. Los exoesqueletos molidos y tamizados se sometieron a un proceso de despigmentación química donde se usó etanol al 85% en una relación de 1:10, se agitó a velocidad constante durante 2 horas a temperatura 18° C, al final se filtró los exoesqueletos despigmentados mediante un sistema al vacío y se llevó a la estufa durante 65°C durante 6 horas tal como lo indica la **figura 18**.

Figura 18: Despigmentación



Realizado por: Autores

5.3.3 Desmineralización

Para la desmineralización de los desechos del camarón se realizó usando ácido clorhídrico al 1M en agitación constante durante 3 horas a temperatura 18°C. La relación sólido-líquido usada fue de 1:10. El material desmineralizado se recuperó por filtración al vacío y se enjuagó con agua destilada para reducir su acidez de 4 a un pH neutro, después se puso a secar en una estufa a 65° durante 6 horas tal como se puede evidenciar en la **figura 19**.

Figura 19: Desmineralización



Realizado por: Autores

5.3.4 Desproteínización

La desproteínización se realizó con la necesidad de retirar las proteínas presentes que interfieren con la pureza de la quitina, este proceso se realizó con una solución de NaOH al 1 M a una temperatura de 80°C en agitación constante durante 2 horas. La relación sólido-líquido usada fue de 1:15. El tiempo es una hora menor a la desmineralización con el fin de evitar la despolimerización de las cadenas polisacáridas, el pH medido con un potenciómetro Metter Toledo fue de 10 por esa razón como paso siguiente fue utilizar el sistema de filtración al vacío y lavarlo con agua destilada para reducir su basicidad y llegar a un pH neutro. Al

final se llevó a la estufa 6 horas durante 65°C. El material se clarificó tornándose de un color blanco rosado, este resultado se puede verificar en la **figura 20**.

Figura 20: Desproteinización



Realizado por: Autores

5.3.5 Desacetilación

La quitina resultante se sometió al proceso de desacetilación, por el cual el exoesqueleto del camarón es convertido en quitosano este proceso se puede entender de una mejor manera en la **figura 21**, para ello se usó 7,5 gramos de quitina obtenida y se vertió en una solución de NaOH al 50% en una relación de 1:15 solido-liquido. La solución se agitó constantemente a una temperatura de 110° C durante 3 horas. Al finalizar se filtró al vacío y se midió su pH dando un valor de 13, como paso siguiente se redujo la basicidad a un pH neutro para su posterior secado en la estufa durante 6 horas a 65°C.

Figura 21: Desacetilación

Realizado por: Autores

La **ecuación 1** fue usada para determinar el porcentaje de desacetilación viene dada por la siguiente fórmula:

$$\% \text{Desacetilación} = 100 - \left(\frac{A_{1654}}{A_{3432}} * 75,19 \right) \quad (1)$$

5.4 Gelatinización del quitosano

La formación de gel de quitosano se realizó mediante la adicción de ácido acético al 10 % de pureza. por cada 0,02g de quitosano se colocó 10 ml de ácido. Se dejó reposar 5 minutos para que las partículas de quitosano se hidraten, a continuación, se mezcló la solución con una varilla de vidrio para homogeneizar el gel. El resultado fue un gel viscoso transparente tal como lo expone la **figura 22**.

Figura 22: Gelatinización del quitosano



Realizado por: Autores

5.5 Pruebas dosificativas

La fase de dosificación para la obtención del bioplástico se consideró como uno de los puntos más importantes de este proyecto de investigación. Dichas pruebas de dosificación se realizaron en los laboratorios de química de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, con ayuda de diferentes equipos suministrados por el personal de laboratorio.

5.5.1 Pruebas dosificativas previas

Previo a las dosificaciones del almidón con los plastificantes, se realizaron pruebas de almidón y agua, con el fin de encontrar la composición adecuada del gel de almidón con mejores características. En la **tabla 6** se puede observar las diferentes dosificaciones que se realizaron, obteniendo como mejor resultado la muestra A3. Esta dosificación fue la base para el biopolímero con la que se trabajó posteriormente.

Tabla 6: Dosificaciones de gel de almidón

MUESTRA	COMPUESTO	DOSIFICACIONES
A1	A+H ₂ O	0,10gr A+ 7 ml H ₂ O
A2	A+H ₂ O	0,20gr A+ 7 ml H ₂ O
A3*	A+H ₂ O	0,30 gr A+ 7 ml H ₂ O

A4	A+H₂O	0,40gr A+ 7 ml H ₂ O
A5	A+H₂O	0,50gr A+ 7 ml H ₂ O
A6	A+H₂O	0,77gr A+ 7 ml H ₂ O

Nota: A: Almidón; * Muestra elegida. *Realizado por:* Autores

5.5.2 Pruebas dosificativas de almidón, reticulante (quitosano) plastificante (glicerol, sorbitol, propilenglicol y alcohol polivinílico)

En base a la metodología que describen (Cook & Martin, s. f.) para realizar el engrudo de almidón, la formación de las biopelículas tuvieron específicamente el siguiente proceso obtenido por experimentación:

1. Se elaboró la formación del gel de quitosano mediante la adicción de ácido acético al 10 % de pureza. por cada 0,02g de quitosano se colocó 10 ml de ácido. En primera instancia el quitosano que se encuentra en estado sólido, se lo hidrata con 3 ml de ácido acético por 3 minutos; posterior a eso se coloca los 7 ml restantes, en agitación constante y temperatura de 50 °C hasta obtener un gel homogéneo.
2. En otro recipiente se realizó la dilución del almidón en agua, para este procedimiento se pesó, con ayuda de una balanza analítica, 0,77 gr de almidón de cáscara de yuca y se colocó en un vaso de precipitado de 100 ml y se le añadió 7 ml de agua destilada. Esta solución se homogenizó a temperatura ambiente y agitación constante.
3. A la mezcla homogenizada de almidón, se le añadió 2 ml de gel de quitosano con ayuda de una pipeta de 5 ml, los demás plastificantes (glicerol, sorbitol, propilenglicol y alcohol polivinílico) se colocaron con goteros según el número de muestra que se realizó. Posterior a la añadidura de los plastificantes se mantuvo una agitación constante por 5 minutos y se procedió a adicionarle temperatura hasta

lograr el punto de gelatinización de la mezcla que se conseguía a una temperatura aproximada de 70 °C.

4. Se vertió la mezcla gelatinizada en una superficie plástica con ayuda de una espátula, precautelando la existencia de burbujas.
5. La superficie plástica fue llevada a la estufa durante 24 horas a una temperatura continua de 35 °C con recirculación de aire media.
6. Transcurrido el periodo de tiempo mencionado en la estufa se retiró la biopelícula fácilmente de la superficie plástica.

Evaluación cualitativa de las biopelículas

El objetivo principal fue, obtener un bioplástico con las mejores características cualitativas posibles, con el fin de su posterior análisis termo-mecánico y económico. La técnica utilizada para realizar esta etapa fue prueba y error, tomando como base experimental información bibliográfica de Fernández & Bautista (2014). De la cual se partió como origen de experimentación para tener conocimiento del comportamiento de los diferentes plastificantes a ser usados, lo que beneficio posteriormente para mejorar los resultados finales.

Basándose en la metodología para planteamientos cualitativos de Fernández & Bautista (2014), se definieron los siguientes parámetros para la recolección de datos:

- Formación de biopelículas
- Transparencia
- Resistencia tensil
- Resistencia a la compresión

En este método de investigación los resultados son fundamentales para generar información sobre el proceso de dosificación, con la finalidad de analizar y comprender de mejor manera los avances y mejorías en los resultados, a diferencia del método cuantitativo, su propósito no es medir variables para levantar información estadística o inferencias. (Fernandez & Baupista, 2014)

5.6 Prueba de biodegradabilidad del biopolímero escogido

5.6.1 Acondicionamiento del suelo

La muestra de suelo se tomó de compost orgánico de oveja obtenido en Supermaxi en la ciudad de Cuenca. Se realizó análisis de pH, humedad, y carbono orgánico en la universidad Politécnica Salesiana.

El compost para la prueba de biodegradabilidad fue obtenido de la hacienda Pumamaqui, como paso siguiente el compost se colocó en dos desecadores, uno para las muestras y en otro que sirvió como blanco de la prueba, tal como se puede apreciar en la **figura 23**, como tercer paso se colocó las muestras de biopolímero, al final se pusieron las rejillas donde se ubicaron los vasos con agua y los vasos de KOH al 0,5 N, los cuáles se titularon con HCl al 0,25 N. Los desecadores se cerraron para el inicio de la prueba

Figura 23: Acondicionamiento de la prueba de biodegradabilidad



Realizado por: Autores

5.6.2 Caracterización del suelo

Para la caracterización del suelo se tomó en cuenta las pruebas realizadas por la empresa PUMAMAQUI productora del compost escogido. En los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana se realizaron pruebas de pH, de humedad y de carbono orgánico.

Para el cálculo de la humedad se usó un analizador de humedad de marca Metter Toledo HB43S, para medir su pH se usó un potenciómetro Seven Multi, para el cálculo del carbono orgánico se usó la técnica volumétrica de titulación REDOX, para la cantidad de tierra utilizada se pesó en una balanza analítica. La relación Carbono/Nitrógeno, el porcentaje de fósforo, calcio y potasio vinieron establecidas por el fabricante. La materia orgánica se

calculó en base al resultado del carbono orgánico, estos valores se pueden tasar en la **tabla 7**.

Tabla 7. Caracterización del suelo

Características	Valores
Fuente	SUPERMAXI
Humedad	35,92%
Ph	7-8
Cantidad de suelo usado por desecador	2 kilogramos
Relación C/N	25/1
Cantidad de agua destilada	50 ml
Fósforo	1.68%
Calcio	5.45%
Potasio	1.74%

Nota: Valores % a partir de 3 kg de compost. *Realizado por:* Autores

5.6.3 Montaje de la prueba de biodegradabilidad el biopolímero escogido por titulación de CO_2

La prueba de biodegradación se basó en la norma ecuatoriana NTE INEN 2640 “Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje”. Se utilizó dos desecadores de 2 litros de volumen, la lámina utilizada para la prueba tiene unas dimensiones expuestas la **tabla 8**.

Tabla 8. Dimensiones de la muestra

Dimensiones(mm)

Largo	55,7
Ancho	55,4
Espesor	1

Realizado por: Autores

El primer desecador se dividió en 4 partes iguales donde se colocaron las 4 muestras del biopolímero, se colocó encima de la rejilla un vaso de KOH al 0,5 N con 50 ml que es el encargado de atrapar el CO₂ y un vaso con 50 ml de agua destilada que sirvió para mantener la humedad. Se realizó una medición acumulativa de la captación del dióxido de carbono, es decir, de los 50 ml de KOH se tituló con HCl al 0,25 N, 2 ml cada día hasta la finalización de la prueba. Además, se colocó otro desecador que nos sirvió como blanco. La prueba se llevó a cabo en un ambiente controlado con una temperatura de 18.8 °C y una humedad de 61%.

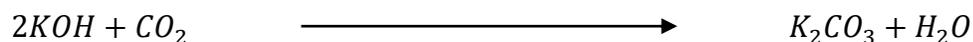
Figura 24: Colocado de muestra



Realizado por: Autores

En la **figura 24** se registró las condiciones del laboratorio en la que se dio la prueba de biodegradabilidad del biopolímero, además se encuentran los dos desecadores usados el uno para las muestras y el otro como blanco.

El dióxido de carbono que se produjo en la prueba reacciona con el KOH al 0,5 N según la reacción:



Con la relación estequiométrica de la reacción entre el CO₂ y el KOH se determinan los moles de CO₂ que reaccionaron.

5.6.4 Procedimiento para la determinación de carbono orgánico total mediante el uso del método colorimétrico

Alícuotas a medir para la preparación de la curva de calibración

Se alistaron 8 estándares de trabajo, donde se dispuso las alícuotas tomadas de la solución estándar, como segundo paso se adiciono 5 ml de K₂Cr₂O₇ de 1 N, se homogenizó durante 10 segundos. Después se adiciona 10 ml de H₂SO₄ al 96% se mezcló lentamente durante 20 segundos y se dejó al reposo por media hora, al finalizar el periodo de tiempo se aforaron los matraces y se observó una sucesión de colores que fueron del amarillo al verde respectivamente. Como paso final se procedió a leer la absorbancia 24 horas después del proceso anterior. La longitud de onda que se usó fue de 590 nm.

5.6.4.1 Determinación de carbono orgánico por el método colorimétrico

Después de la calibración de la curva se procedió a determinar el carbono orgánico presente en la muestra de suelo, para este punto nos basamos en el estudio de (Alemán & Guido, 2015), donde compara dos métodos para el cálculo del carbono orgánico.

Para esto se pesó 1 gramo de muestra de suelo y se lo colocó en un matraz de 50 ml, como segundo paso se adiciono 5ml de K₂Cr₂O₇ 1N y 10 ml de H₂SO₄ 96%. Se esperó 30 minutos antes de aforar a 50 ml. La muestra se leyó 24 horas después de los procesos anteriores, se ajustó la línea base por medio de una lectura solvente que se utiliza en toda la

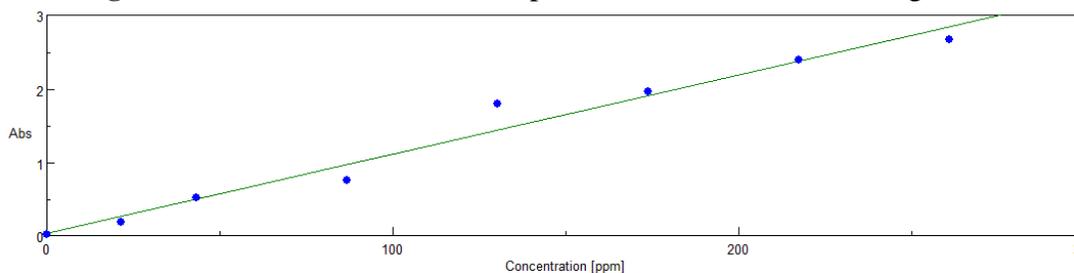
evaluación. Como paso siguiente se procedió a leer la curva de calibración, después se filtró la solución y se agregó a la celda para leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 590nm tal como indica la **tabla 9**. Además, la **figura 25** define la gráfica de la curva de calibración.

Tabla 9. Curva de calibración para el cálculo del Carbono orgánico

	Use	Sample	Comment	Conc. [ppm]	Abs	590.0 nm
Blank	<input checked="" type="checkbox"/>					-0.0040
1	<input checked="" type="checkbox"/>			0	0.0174078	0.0174
2	<input checked="" type="checkbox"/>			21.751	0.18424	0.1842
3	<input checked="" type="checkbox"/>			43.502	0.521077	0.5211
4	<input checked="" type="checkbox"/>			87.004	0.761022	0.7610
5	<input checked="" type="checkbox"/>			130.506	1.80526	1.8053
6	<input checked="" type="checkbox"/>			174.008	1.96577	1.9658
7	<input checked="" type="checkbox"/>			217.51	2.398	2.3980
8	<input checked="" type="checkbox"/>			261.02	2.6734	2.6734
* 9	<input checked="" type="checkbox"/>					

Realizado por: Autores

Figura 25. Calibración de la curva para el cálculo del carbono orgánico.



Realizado por: Autores

Como paso final se usó la siguiente ecuación (2) para calcular a concentración de carbono orgánico:

$$C.O \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{\text{Lectura de absorbancia} - \text{Intercepto de la curva de calibracion}}{\text{Pendiente de la curva} * \text{Masa de la muestra}} \quad (2)$$

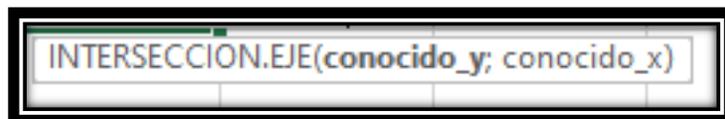
La lectura de absorbancia se obtuvo de los resultados del espectrofotómetro y de la muestra de suelo ya preparada, la medición se puede apreciar mejor en la **tabla 10**.

Tabla 10. Medición de la muestra de suelo

	Mode	Sample	Comment	Conc. [ppm]	Abs	590.0 nm
1	Blank-1					-0.0718
2	Blank-2					-0.0133
3	Sample-1			177.044	1.93888	1.9389

Realizado por: Autores

Para el intersección de la curva de calibración se usó la función de intersección de ejes de Excel, la cual calcula el punto en el cual la línea formará una intersección con el eje Y usando una línea de regresión optimizada trazada a través de los valores ya calculados. Para entender el uso de la fórmula se realizó una captura de pantalla del programa Excel (**figura 26**), donde explica las variables a usar.

Figura 26. Función de intersección

Realizado por: Autores

Al igual que el intersección, la pendiente se calculó con una función de Excel llamada pendiente (**figura 27**), la cual se basa en una línea de regresión lineal de puntos ya conocidos y que se registraron en la **tabla 11**.

Figura 27. Función pendiente

Realizado por: Autores

Tabla 11. Cálculo del carbono orgánico

Conc.	Abs	590 nm
mg/ml		

0,021751	0,18424	0,1842
0,043502	0,521077	0,5211
0,087004	0,761022	0,761
0,130506	1,80526	1,8053
0,174008	1,96577	1,9658
0,177044	1,93888	1,9389
0,21751	2,398	2,398
0,26102	2,6734	2,6734
1,112345	12,247649	Sumatoria

Realizado por: Autores

Para los parámetros establecidos en la prueba de biodegradación se fundamentaron en un estudio de Merchan et al., (2009), en lo que se refiere al cálculo del carbono orgánico se determinó mediante el uso de la ecuación (2) en la que basa el método colorimétrico (Alemán & Guido, 2015). Los datos se expresaron en la **tabla 12**.

Tabla 12. Parámetros

Parámetros			
Hidróxido de Potasio	Normalidad KOH	0,5	N
Ácido clorhídrico	Normalidad HCl	0,25	N
Mtotal	Peso total muestra	9,2	gr
Ctot	Peso CARBONO	0,08852	gr

Realizado por: Autores

5.6.5 Cálculo Del Porcentaje De Biodegradación Del Biopolímero

Tabla 13. Fórmulas para la prueba de biodegradación

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
-----------------	--------------------

**DIÓXIDO DE
CARBONO
TEÓRICO**

$$CO_2Teórico = M_{tot} * C_{tot} * \frac{44}{12}$$

(3)

CO_2 Teórico es la cantidad teorica que puede producirse por las muestras del biopolímero producido en gramos por cada montaje; M_{tot} es el total de los sólidos secos en gramos de las muestras del biopolímero producido. C_{tot} es la proporción de carbono orgánico total en gramos presentes en el total de sólidos secos de cada gramo del biopolímero producido

**PORCENTAJE DE
BIODEGRADACIÓN**

$$\%biodeg = \frac{(CO_2)_M - (CO_2)_B}{CO_2Teórico} * 100$$

(4)

$(CO_2)_M$ Es la cantidad acumulada de dióxido de carbono en gramos que se produjo en cada montaje que contiene las muestras del biopolímero; $(CO_2)_B$ es la cantidad de dióxido de carbono en gramos

		producida en el montaje del blanco.
GRAMOS DE DIÓXIDO DE CARBONO	$gCO_2 = \frac{(0.5 N) * ml HCL * 44}{1000}$ <p style="text-align: center;">(5)</p>	0.5 n es la normalidad del KOH; (ml HCl) son los mililitros empleados en la titulación del KOH.

Tomado de:(Alemán & Guido, 2015).

La biodegradabilidad es una característica química que se basa en la permanencia de un material en el ambiente. Para determinar el porcentaje de biodegradación se usó el método de titulación de carbonatos mediante el agente titulante (HCl) para cuantificar la generación de CO₂ capturado por el hidróxido de sodio que emitirá el biopolímero elegido en condiciones de laboratorio (Merchan et al., 2009).

5.6.6 Registro fotográfico de la prueba de biodegradación

Conjunto con el desarrollo de la prueba de biodegradación se realizó un seguimiento fotográfico. Las fotografías fueron tomadas con un celular, esto fue hasta que el biopolímero dejo de ser visible esto se puede observar en la sección de resultados, en la **tabla 29**.

5.7 Prueba de dureza

La prueba de dureza se realizó con la ayuda de un durómetro Rex portátil, el cual se usa para medir materiales no metálicos. Se usó la punta tipo A que es la punta diseñada para materiales blandos. Para lograr los resultados correctos se siguió un protocolo de ASTM 2240 para determinar la dureza Shore. En la cual se indica que el material a ser muestreado tiene que tener un espesor de 4 mm, asegurando que la superficie sea uniforme.

Para obtener resultados precisos, se realizó 5 muestreos en diferentes puntos de la superficie del biopolímero, con el objetivo de tener un promedio de los datos. La duración

por dato fue de 15 segundos, colocando el durómetro completamente perpendicular a la superficie a analizar.

5.8 Prueba TGA

El análisis termo-gravimétrico fue realizado en los laboratorios de evaluación de materiales de la ESPOL. Los ensayos se realizaron de acuerdo a la norma ISO 11357-3. La muestra se calentó a una velocidad de 10 °C/min y tuvo una velocidad de flujo de 100 ml/min en una atmósfera de nitrógeno entre 10 y 500 °C en un crisol de alúmina, el equipo que usaron en el laboratorio fue un analizador térmico SDT Q600, EM-004. El termograma enviado por el laboratorio de evaluación de materiales de la universidad ESPOL como tal se encuentra adjunto en el apéndice B.

5.8.1 Pérdida porcentual de masa

La pérdida de masa porcentual se utilizó para determinar el comportamiento del biopolímero a diferentes temperaturas en base a la degradación de su masa. La fórmula (6) con la que se calculó la pérdida porcentual es la siguiente:

$$\Delta m = \frac{m_f - m_i}{m_i} \quad (6)$$

Δm =Cambio porcentual de masa

m_i =Masa inicial de la muestra, gr

m_f =Masa final de la muestra

5.8.2 Residuo

El residuo se calculó para tasar el sobrante, es decir, la parte de los sólidos totales que no son volátiles que no se perdieron al variar la temperatura. La ecuación (7) del residuo es:

$$R = \frac{m_f}{m_i} \quad (7)$$

5.8.3 Cambios de masa que están relacionados con el cambio de pendiente de la curva

Para el análisis del termograma se tomó en cuenta las temperaturas enviadas por el laboratorio y dos temperaturas en el termograma necesarias para los cálculos de la pérdida de masa porcentual y el residuo. Las temperaturas dichas se encuentran en la **tabla 14**.

Tabla 14. Temperaturas de estudio.

Temperatura A	76,5 °C
Temperatura B	223,96 °C
Temperatura C	324,92 °C
Temperatura D	365 °C
Temperatura E	500 °C

Realizado por: Autores

Con la siguiente ecuación (8) se determinaron las pérdidas de masa con respecto a las 5 temperaturas tomadas en cuenta.

$$\Delta m_x = \frac{m_x}{m_i} \quad (8)$$

Δm_x =Cambios de masa en relación a la pendiente en función de la temperatura

m_x =Masa a una temperatura X

m_i =Masa inicial de la muestra, gr

5.9 Evaluar la viabilidad financiera del proyecto a escala industrial mediante indicadores y el Análisis Del Punto De Equilibrio.

Para comprobar la viabilidad del proyecto se utilizó el punto de equilibrio, además de las indicadores VAN y TIR (Mallo et al., 2004).

5.9.1 Punto De Equilibrio Total

Las variables que intervienen en el cálculo del punto de equilibrio son las siguientes:

Costos fijos: Para calcular los costos fijos según (Mallo et al., 2004), se fijaron los salarios de los de los trabajadores en base al cargo y a lo que determina el Art. 328 de la Constitución de la República del Ecuador que expresa lo siguiente “La remuneración será justa, con un salario digno que cubra al menos las necesidades básicas de la persona trabajadora, así como las de su familia; será inembargable, salvo para el pago de pensiones por alimentos”. Además, se tomó en cuenta el alquiler de la nave industrial y los costos de inversión según expresa la ecuación (9).

$$Cf = Al + Ci + Cvd \quad (9)$$

Al= Alquiler de nave industrial.

Ci= Costos de inversión.

Cvd= Costos de ventas y distribución.

$$\text{Costos de inversión} = Fi + Cm \quad (10)$$

Fi= Financiación del préstamo.

Cm= Costo de la maquinaria.

Se calculó la maquinaria descrita en la **tabla 15** en base a la ecuación (11) a los requerimientos presentados en el proceso tanto de extracción de almidón donde se usó el método húmedo y la extracción del quitosano realizado por desacetilación química

$$MQ = M + AC + Mo \quad (11)$$

M= Mantenimiento.

AC= Análisis de calidad.

Mo= Mano de obra.

Tabla 15. Maquinaria determinada para el proceso de producción del biopolímero

Proceso	Artículo	Unidades
Lavado	Banda transportadora	1
	Nebulizadores	20
	Compresor	1
Triturado	Molino industrial	1
Depuración agua residual	Sistema de tuberías	1
	Tanque de acero 1 m ³	2
Sedimentado	Tanque de acero	2
Filtrado al vacío	Estructura de acero	2
	Bomba al vacío	1
Sistema de calor	Tuberio de acero	1
	Termocupla	6
Secado	Horno industrial	1
Mezclado	Agitador	1
	Moldes	30
	Motor	1

Realizado por: Autores

Los rubros para determinar el total de los costos fijos del proyecto son: los salarios fijos de los empleados de la empresa expresados en la **tabla 16**, la maquinaria requerida ya descrita en la **tabla 15** para el procesamiento del biopolímero y el alquiler de la nave industrial.

Tabla 16. Salarios fijos

Salarios fijos

Personal	Cantidad requerida
Administrador/a-contador	1
Venta y distribución	1

Realizado por: Autores

Para el cálculo de los salarios fijos se utilizó la siguiente ecuación (12)

$$S_f = (S_1 + SS_1 + D_{c_1} + D_{t_1}) + \dots + (S_n + SS_n + D_{c_n} + D_{t_n}) \quad (12)$$

S_n = Salario del personal n .

SS_n = Seguro social del personal n .

D_{cn} = Décimo cuarto del personal n .

D_{tn} =Décimo tercero del personal n .

Costos variables: Para calcular los costos variables se siguió la metodología de (Mallo et al., 2004) que se basa en la ecuación (14). Se fijaron los salarios variables de los de los trabajadores en base al cargo den, según la ecuación (13) y según lo determina el Art. 328 de la Constitución de la República del Ecuador que expresa lo siguiente “*La remuneración será justa, con un salario digno que cubra al menos las necesidades básicas de la persona trabajadora, así como las de su familia; será inembargable, salvo para el pago de pensiones por alimentos*”.

$$S_v = (Sv_1 + SSv_1 + Dv_{c_1} + Dv_{t_1}) + \dots + (Sv_n + SSv_n + Dv_{c_n} + Dv_{t_n}) \quad (13)$$

Sv_n = Salario del personal n .

SSv_n = Seguro social del personal n .

Dv_{cn} = Décimo cuarto del personal n .

Dv_{tn} =Décimo tercero del personal n .

$$Cv = I + MQ + G \quad (14)$$

I= Insumos.

MQ= Maquinaria y Equipos.

G= Otros.

Se calculó el consumo de agua aproximado en base a los rangos de consumo, el cargo por disponibilidad dado en dólares sobre mes y el cargo variable dado en dólares sobre metro cúbico ecuación (15).

$$\text{Consumo de agua total} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right) = \text{Consumo máximo} * (Cd + Cv) \quad (15)$$

Cd= Cargo por disponibilidad $\left(\frac{\$}{\text{mes}} \right)$.

Cv= Cargo variable $\left(\frac{\$}{\text{m}^3} \right)$.

Se determinó el costo de los insumos necesarios para la producción del biopolímero para esta parte se basó en los ensayos experimentales realizados en el laboratorio y en la ecuación (16).

$$I = CIa * Cua + CIb * Cub + \dots + CIn * Cun \quad (16)$$

CI= Costo de insumo.

Cu= Cantidad de insumo utilizada

Se realizó una síntesis de todos los costos variables necesarios para el cálculo del punto de equilibrio y la ilustración en el plano.

La fórmula del punto de equilibrio es el siguiente:

$$\text{Costos totales} = \text{Ingresos totales} \quad (17)$$

5.9.2 Punto de equilibrio por unidad

Se calculó el PEU por cada producto o unidad, para tener una mejor idea de cómo el producto entra al mercado de plásticos.

$$\text{Costo variable unitario} = \text{Costo variable} / \text{unidades vendidas} \quad (18)$$

$$\text{PEU} = \text{Costos fijos} / (\text{Precios de venta} - \text{Coste variable unitario}) \quad (19)$$

Se determinó las variables principales para el gráfico del punto de equilibrio, presentes en el **apéndice D**.

5.9.3 Indicador VAN

El valor actual neto (VAN) se utilizó para determinar la viabilidad de un proyecto. Para eso se simuló los ingresos de la industria a una tasa del 10% en un periodo de 6 años.

Existen 3 parámetros que definen si un proyecto es viable o no, estos son;

- Si el VAN tiene un valor positivo el proyecto produce ganancias.
- Si el VAN es negativo el proyecto no produce valía.
- Cuando el VAN es 0 el proyecto se encuentra en un equilibrio donde no gana, ni pierde.

La fórmula del VAN es la siguiente:

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{\text{FN}_j}{(1+i)^j} \quad (20)$$

FN = flujo neto en el periodo j.

N = horizonte de evaluación.

I₀ = inversión en el periodo cero.

I = tasa de descuento del inversionista.

5.9.4 Indicador TIR

Se calculó el TIR con el objetivo de medir la rentabilidad de la inversión. Esto significa que por la cantidad que no se haya retirado del proyecto, este tendrá el porcentaje de ganancias y pérdidas.

Los parámetros que definen la rentabilidad por parte del TIR son los siguientes:

- Si el TIR es positivo o mayor a cero la rentabilidad será mayor y se obtendrá una inversión a un interés elevado.
- Si el TIR es negativo o muy bajo significará que el proyecto no es viable y no se recibirá intereses por la inversión.

La fórmula del TIR es la siguiente:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad (21)$$

Fn = flujo de caja en el periodo n.

n = número de periodos.

i = valor de la inversión inicial.

6. Resultados y Discusión

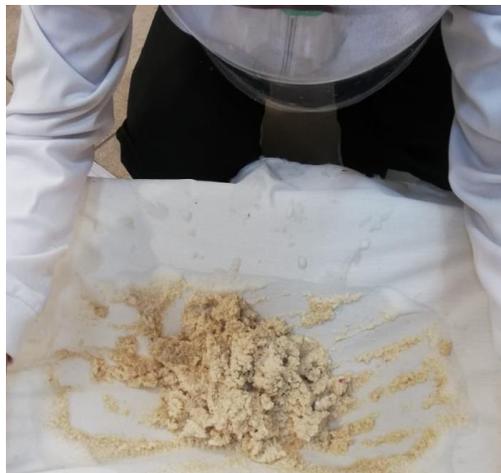
6.1 Extracción Del Almidón Por Método Húmedo

A continuación, en la **figura 29** se puede notar el producto de cada proceso (lavado, colado, sedimentado), así como el producto final que en este caso sería el almidón de la cáscara de yuca.

Figura 28: Extracción del Almidón



Lavado de la cáscara yuca



Colado del bagazo de la cáscara de yuca



Sedimentado del almidón



Almidón de la cáscara de yuca

Realizado por: Autores

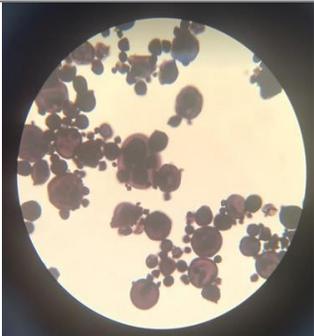
Después de seguir con el proceso estipulado en el libro de Aristizabal & Sánchez (2007), donde se usó el método húmedo para extraer el almidón se obtuvo los siguientes resultados al realizar pruebas al almidón obtenido:

6.1.1 Observación al microscopio.

Al observar en el microscopio los gránulos de almidón estándar y los gránulos de la cáscara de yuca se notó un incremento de tamaño en el almidón de estudio y una pequeña decoloración en algunos gránulos debido a la fuente de obtención. Según el artículo de

(Medina & Salas, 2008), un gránulo de almidón de yuca se encuentra dentro de un rango de 10,4 um de diámetro con una desviación estándar de 4,74. A continuación en la **tabla 17** se registró fotográficamente la vista microscópica del almidón de la cáscara de yuca y del almidón estándar.

Tabla 17. Vista microscópica del almidón de yuca estándar / cáscara de yuca.

Almidón de la cáscara de Yuca	Almidón estándar de yuca
	
Forma esférica / elíptica	Forma esférica / elíptica

Realizado por: Autores

6.1.2 Temperatura de gelatinización

Tal como lo expresa la **tabla 18** la temperatura de gelatinización del almidón estándar y del almidón de cáscara de yuca se evidenció que el almidón procesado tardo más tiempo en llegar al punto de gelatinización, el grado de temperatura varió mínimamente, se encontró a los 69,9° C

Tabla 18. Temperatura de gelatinización cáscara de yuca / estándar.

Almidón de la cáscara de Yuca	Almidón estandar de yuca
-------------------------------	--------------------------



Temperatura de gelatinización	Temperatura de gelatinización
69.3°C	69.9 °C
Tiempo de gelatinización	Tiempo de gelatinización
3 min 20 seg	2 min 59 seg

Realizado por: Autores

6.1.3 Complejo Iodo-Almidón y su reversibilidad

Al reaccionar el yodo con el almidón, se formó una solución coloreada, que se debe a la formación de complejos de coordinación entre el almidón y el yodo. El tiempo requerido para el almidón estándar fue de 28 segundos y para el almidón de los residuos de la yuca fue un tiempo de 26 segundos. Se demostró que las películas suberosas de la yuca poseen un

elevado contenido de almidón. Se necesitó de 6 tubos de ensayo para llegar a la reacción negativa rojo-ladrillo como lo ilustra la **tabla 19**, el cual tenía como fin esta prueba.

Tabla 19. Prueba complejo Iodo-almidón y su reversibilidad.

Almidón de cáscara de yuca	Almidón estándar de yuca
	
	
Tiempo requerido para que aparezca nuevamente el color semejante al que tenía al principio.	
28 seg	28 seg

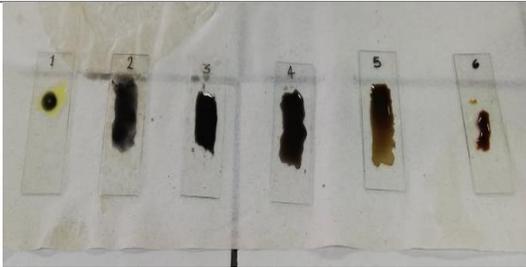
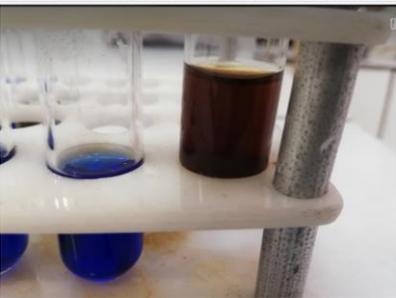
Realizado por: Autores

6.1.4 Hidrólisis del almidón

El tiempo de ebullición del almidón de yuca estandarizado fue de 3 minutos 18 segundos y del almidón de residuos de yuca fue de 3 minutos 2 segundos, con esta prueba final

comparativa se confirma en el producto obtenido es almidón dado que se generó una reacción positiva de poliyoduro y además se hidrolizó hasta lograr una reacción negativa de color rojo-ladrillo esto se basó en estudios realizados por Amaya (2018), tal como lo ilustra la **tabla 20**.

Tabla 20. Hidrólisis del almidón

Almidón de cascara de yuca	Almidón estándar de yuca
	
	
<p>Tiempo de ebullición de la solución de almidón de la cáscara de yuca al 1% y HCl</p>	<p>Tiempo de ebullición de la solución de almidón estándar de yuca al 1% y HCl</p>
<p>3 min y 18 seg</p>	<p>3 min y 2 seg</p>
<p>Grado de reducción por la cantidad de precipitado rojo ladrillo en cada tubo.</p>	

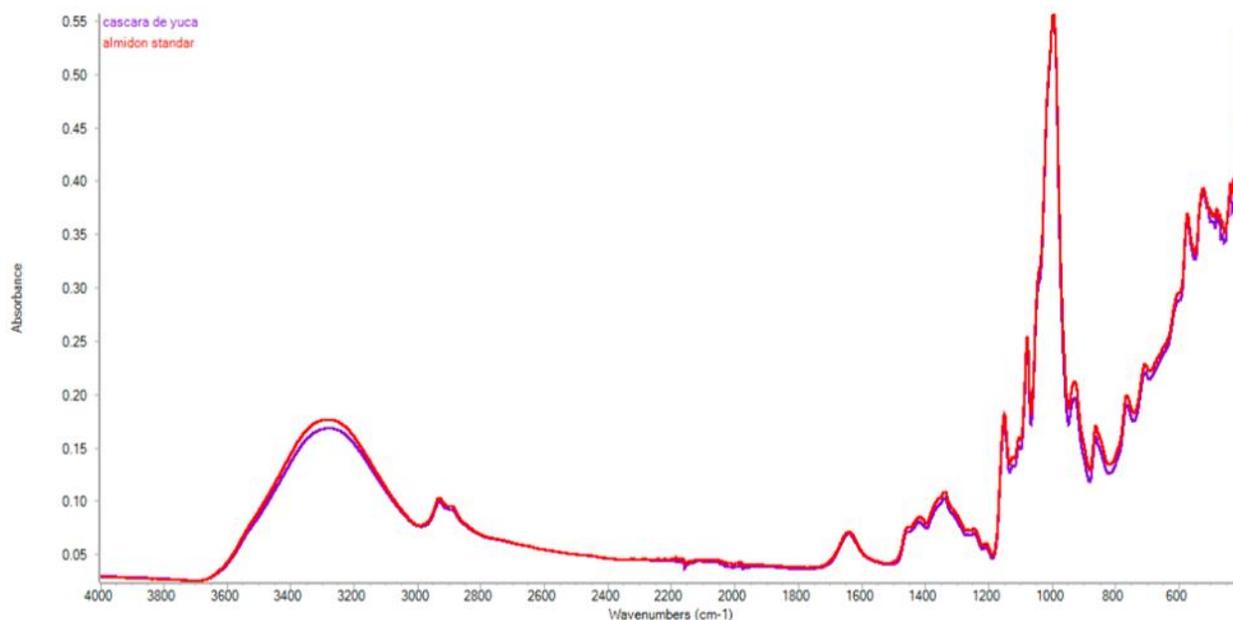
Realizado por: Autores

6.1.5 FTIR del almidón

Para verificar los resultados obtenidos de la extracción de almidón de yuca se realizó un análisis en el espectro Thermo Scientific “Smart iTx”, configurado para diamante con número de scaneos de 16, resolución 4, formato absorbancia y se colocó corrección con ATR.

Con estas configuraciones se realizaron pruebas de comparación con el almidón industrial y el almidón extraído de la cáscara de yuca. Como resultado se obtuvo dos espectros completamente similares, dando lugar a la verificación de la calidad del almidón extraído como se observa en la **figura 30**, se toma en cuenta los picos referenciales del almidón tales como el pico de 3263.55 cm^{-1} por presencia del grupo OH, 1639 cm^{-1} del grupo C=O, la cumbre de 1335.49 cm^{-1} del grupo C-O y el pico 1149.46 cm^{-1} pertenece al grupo C-O-C.

Figura 29: Comparación de almidón de yuca industrial y almidón obtenido de la cáscara de yuca



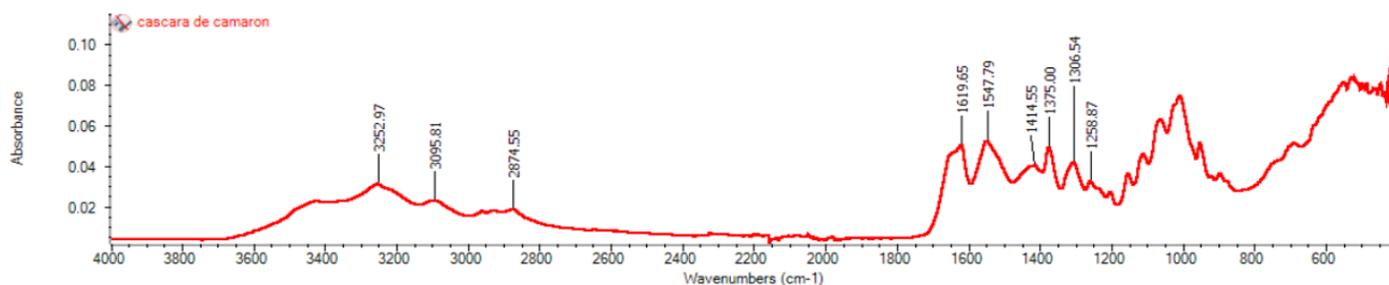
Realizado por: Autores

6.2 FTIR de las etapas de producción de quitosano

Tras realizar la debida limpieza a la materia primera y obtener pequeñas partículas completamente secas, se las llevo al espectro FT-IR con el objetivo de contar con una base información de materia prima y al final evidenciar la evolución luego de los diversos procedimientos que se la dará. La **figura 31** muestra el espectro obtenido de la cáscara de

camarón sin ser tratada antes del proceso de conversión, De esta manera se puede observar los principales grupos funcionales correspondientes a la cáscara de camarón, tales como la presencia de grupos -OH en la vibración de onda de $3500\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$, de igual manera es evidente el enlace glicosídico -C-O-C en las vibraciones $1150\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, el pico de 1619 cm^{-1} corresponde a la presencia de grupos -NH , los valores aproximados a 1650 cm^{-1} hacen referencia a los enlaces -C=O y el grupo amino presente en el pico 1548 cm^{-1} .

Figura 30: Espectro de cáscara de camarón como materia prima

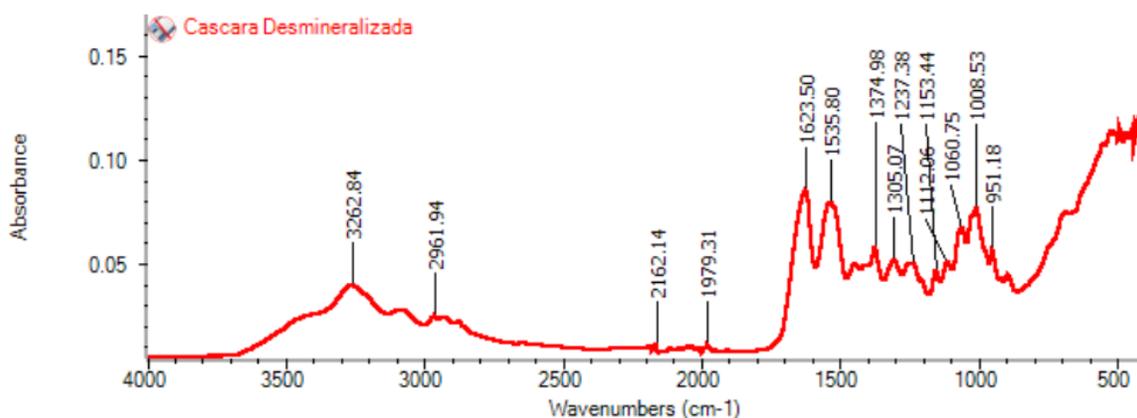


Realizado por: Autores

Luego de la despigmentación de la cáscara, se realizó un proceso de desmineralización de la misma. Para verificar la eliminación de los minerales se realizó un análisis mediante espectrofotometría y como resultado se obtuvo el espectro de la **figura 32** en donde se evidencia la pérdida de minerales dentro de las vibraciones de onda de $1650\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ inexistentes en comparación al espectro base de la materia prima expuesta en la **figura 31**, en la cual la vibración de onda en $1650\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ obtuvo una absorbancia de 0.05 aproximadamente. Además de esta vibración de onda, existen otras vibraciones características de cáscara desmineralizada como: los enlaces -CH_2 demostrada en el pico 1305 cm^{-1} , la vibración 1623 cm^{-1} hace referencia a los enlaces C=O existentes, los enlaces

glucosídicos –C-O-C se aprecian en el pico 1153 cm^{-1} y el pico 1535 representa los minerales existentes en el compuesto.

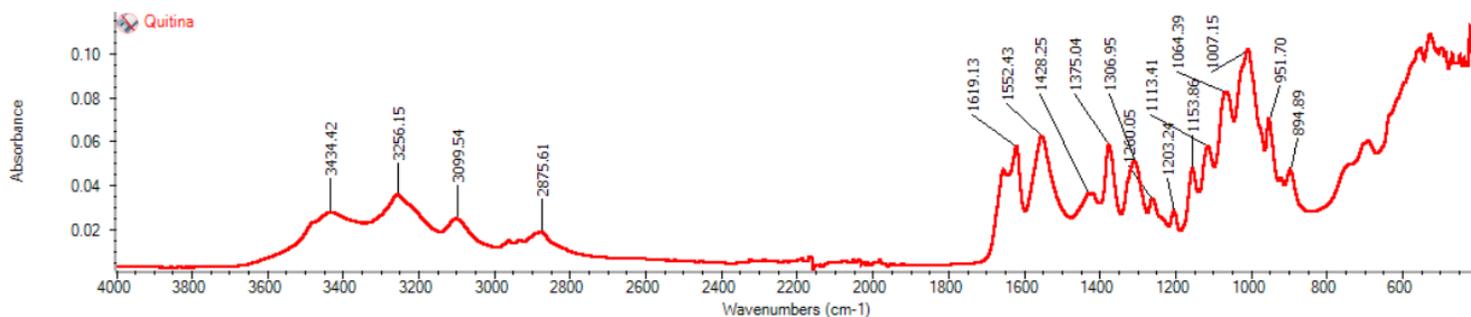
Figura 31: Espectro de cáscara de camarón desmineralizada



Realizado por: Autores

Inmediatamente del proceso de desmineralización, la **figura 33** indica el espectro FTIR de la quitina, mostrando una banda de tensión de vibración –OH a $3.500\text{--}3.400\text{ cm}^{-1}$, las bandas pertenecientes a la tensión de vibración –NH secundaria a 1619 cm^{-1} . Se aprecia a una pequeña banda a 1.552 cm^{-1} , que pertenece a la cantidad mínima de grupos aminos presentes en la quitina tras la desproteínización con NaOH.

Figura 32: Espectro de cáscara de camarón desproteínizada (quitina)

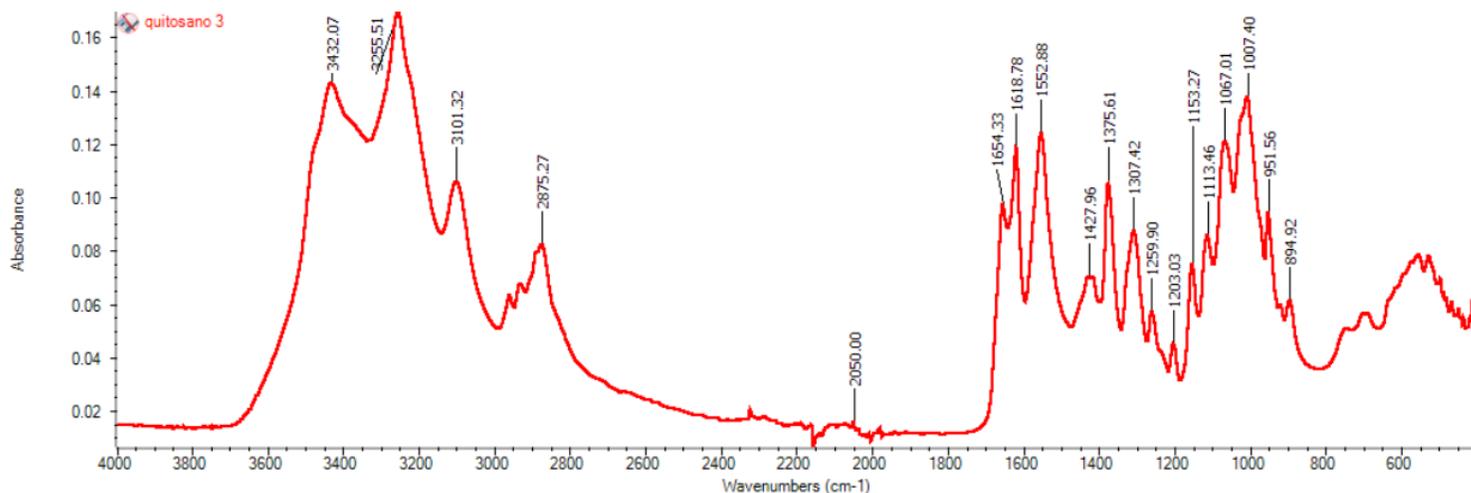


Realizado por: Autores

6.2.1 Quitosano

En esta **figura 34** se pueden evidenciar las características del espectro del quitosano: entre 3400-3500 cm^{-1} que corresponden a la vibración de tensión de los grupos OH; los picos entre 3101 y 2875, 1427, 1307, 1259 y 1203 cm^{-1} están vinculados a la vibración de alargamiento CH_2 resultado del anillo de piranosa; la señal emitida de 1654 cm^{-1} está estrechamente ligada a la existencia de enlace $\text{C}=\text{O}$ con el grupo amida (banda de amida I) $\text{C}=\text{O}-\text{NH}-\text{R}$; la presencia de la señal 1552 cm^{-1} es causada por la vibración de flexión del grupo amina $\text{NH}-\text{R}$ (amida II); la vibración del grupo amida NH_2 está representada en la señal a 1540-1560 cm^{-1} ; la señal a 1255-1260 cm^{-1} es producto de la vibración del grupo $\text{C}-\text{O}$; y el tramo entre 1153-1067 cm^{-1} está ligado al enlace glicosídico $-\text{C}-\text{O}-\text{C}$. Con estos resultados obtenidos se puede verificar que el producto obtenido cuenta las señales características del quitosano. De igual manera los resultados fueron comparados exitosamente con un estudio realizado titulado como: “Determinación del grado de desacetilación de quitosano mediante titulación potenciométrica, FTIR y Raman” en donde analizan mediante los mismo parámetros y equipo espectro del quitosano. (Ramirez et al., 2016)

Figura 33: Espectro de quitosano



Realizado por: Autores

6.2.2 Determinación del grado de desacetilación del Quitosano

Para la determinación del porcentaje de desacetilación del quitosano obtenido, se usó la **figura 34** que hace referencia al resultado del espectro IR del quitosano, que fue generado en un rango de frecuencia de 400 – 4000 cm^{-1} . Para realizar esta evaluación, se tomó los datos de absorbancia de los picos característicos del grupo hidroxilo y del grupo amino.

Según se observa en la **figura 34**, la banda que corresponde a la vibración de tensión del grupo O-H en la región de 3432 cm^{-1} , el cual pertenece a una absorbancia de 0,14; mientras el pico agudo, en la región de 1654 cm^{-1} donde se encuentra el grupo H-N-H, tiene un valor de absorbancia de 0,10.

Puesto que A_{1654} y A_{3432} son los valores de la absorbancia (A) en el número de onda de 1654 y 3432 cm^{-1} , respectivamente. Una vez deducidos los valores a ser ocupados se los incluye en la ecuación (1), obteniendo el siguiente resultado:

$$\% \text{Desacetilación} = 100 - \left(\frac{0,10}{0,14} * 75,19 \right)$$

= **46,3 %**

Con el resultado obtenido se concluye que el grado de desacetilación fue bajo en comparación al quitosano comercial, ya que este producto fluctúa entre un 86-90%. Sin embargo, puede haber dos grados de desacetilación para el quitosano: alto grado de desacetilación y bajo grado de desacetilación, en el que establece el 35 % de los grupos acetilo son eliminados. (Romero Sevilla et al., 2018)

6.3 Pruebas dosificativas de biopolímeros

Mediante previa investigación se obtuvo la primera dosificación, almidón con el agua, para la gelatinización. Se realizó la primera muestra con una proporción almidón/agua de 1:9. (Cook & Martin, s. f.). Posterior a esto se experimentó con los plastificantes para determinar el comportamiento de los mismos. Como complemento se realizó un registro fotográfico de cada muestra obtenida, evidenciado en el **apéndice A**.

Se consiguió la siguiente tabla (**tabla 21**) de dosificaciones como resultado de la experimentación y la evaluación cuantitativa:

Tabla 21. Evaluación cuantitativa de las muestras realizadas y dosificaciones.

EVALUACIÓN CUALITATIVA

Número de muestra	Compuesto	de					Resistencia a compresión	Resistencia al quiebre	Dosificaciones
		Formación biopelículas	Transparencia	Resistencia tensil	la	a			
0	A+ H ₂ O	SI	BAJA	BAJA		ALTA	SI		
1	A+ P	NO	BAJA	-		-	-		
2	A+S	SI	BAJA	-		-	-		
3	A+ G	SI	BAJA	MEDIA		BAJA	NO	0,77gr A+ 7ml plastificante	
4	A+APV	SI	BAJA	MEDIA		ALTA	NO		
5	A+Q	SI	BAJA	MEDIA		BAJA	SI		
6	A+ H ₂ O+P	SI	BAJA	MEDIA		BAJA	NO		
7	A+ H ₂ O+S	SI	BAJA	ALTA		ALTA	NO		
8	A+ H ₂ O+G	SI	BAJA	MEDIA		ALTA	NO		
9	A+ H ₂ O+APV	SI	BAJA	MEDIA		MEDIA	SI	0,77 gr + 7ml H ₂ O + 2 ml plastificante	
10	A+ H ₂ O+ Q	SI	ALTA	BAJA		ALTA	SI		
11	A+Q+P	SI	BAJA	MEDIA		BAJA	NO		
12	A+Q+S	SI	BAJA	ALTA		ALTA	NO	0,77 gr + 5ml H ₂ O+ 1ml plastificante	
13	A+Q+G	SI	BAJA	MEDIA		ALTA	NO		
14	A+Q+APV	SI	BAJA	MEDIA		ALTA	SI		
15	A+Q+H ₂ O+P	SI	BAJA	BAJA		MEDIA	NO		
16	A+Q+H ₂ O+S	SI	BAJA	ALTA		ALTA	NO	0,77 gr + 5 ml Q + 2 ml H ₂ O+ 1ml plastificante.	
17	A+Q+H ₂ O+G	SI	BAJA	ALTA		ALTA	NO		
18	A+Q+H ₂ O+AP	SI	BAJA	BAJA		ALTA	SI		
V									
19	A+H ₂ O+Q ₂	SI	ALTA	MEDIA		MEDIA	NO		
20	A+H ₂ O+Q ₂ +G	SI	ALTA	BAJA		ALTA	NO		

21	A+H₂O+Q₂+S	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	NO	0,5 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q+ 0,1ml plastificante.
22	A+H₂O+Q₂+AP V	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	NO	
23	A+H₂O+Q₂	SI	ALTA	BAJA	BAJA	SI	0,5 gr + 7 ml H ₂ O + 3 ml Q
24	A+H₂O+Q₂+G	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	ME DIO	+ 0,1ml plastificante.
25	A+H₂O+Q₂+S	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	ME DIO	
26	A+H₂O+Q₂+AP V	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	SI	
27	A+H₂O+Q₂+G	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	SI	0,5 gr + 7 ml H ₂ O + 3 ml Q + 0,05ml plastificante.
28	A+H₂O+Q₂+G	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	SI	0,5 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q
29	A+H₂O+Q₂+S	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	POC O	+ 0,05 ml plastificante.
30	A+H₂O+Q₂+AP V	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	SI	
31	A+H₂O+Q₂+G	SI	ALTA	MEDIA	MEDIA	NO	
32	A+H₂O+Q₂+S	SI	ALTA	MEDIA	ALTA	NO	
33	A+H₂O+Q₂+AP V	SI	ALTA	BAJA	BAJA	ME DIO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,1 ml plastificante.
34	A+H₂O+Q₂+G	SI	ALTA	MEDIA	ALTA	NO	
35	A+H₂O+Q₂+S	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	POC O	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q
36	A+H₂O+Q₂+AP V	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	SI	+ 0,05 ml plastificante.
37	A+H₂O+Q₂+S	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,15 ml S.

38	A+H₂O+Q₂+S+ G	SI	BAJA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,10 ml S +0,05 ml plastificante.
39	A+H₂O+Q₂+S+ APV	SI	ALTA	MEDIA	ALTA	NO	
40	A+H₂O+Q₂+G+ S	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,05 ml G +0,05 ml plastificante.
41	A+H₂O+Q₂+G+ APV	SI	ALTA	MEDIA	ALTA	NO	
42	A+H₂O+Q₂+AP V3+S	SI	ALTA	ALTA	ALTA	SI	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,05 APV +0,05 ml plastificante.
43	A+H₂O+Q₂+AP V3+G	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	
44	A+H₂O+Q₂+AP V3+S	SI	MEDI A	ALTA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,10 APV +0,05 ml plastificante.
45	A+H₂O+Q₂+AP V3+G	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	
46	A+H₂O+Q₂+S+ G	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,15 ml S +0,05 ml G.
47	A+H₂O+Q₂+S+ APV3	SI	MEDI A	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,15 ml S +0,10 ml APV.
48	A+H₂O+Q₂+S+ APV3+G	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,10 ml S +0,05 ml APV+ 0,05 ml G.
49	A+H₂O+Q₂+S+ APV3+G	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,10 ml S +0,10 ml APV+ 0,05 ml G.
50	A+H₂O+Q₂+AP V3+G+S	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,05 ml S +0,05 ml APV+ 0,05 ml G.

51	A+H₂O+Q₂+AP V3+S+G	SI	MEDI A	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,10 ml APV +0,05 ml S+ 0,05 ml G.
52	A+H₂O+Q₂+AP V3+S+G	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,15 ml APV +0,05 ml S+ 0,05 ml G.
53	A+H₂O+Q₂+AP V3+S+G	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	0,3 gr + 7 ml H ₂ O + 2 ml Q + 0,15 ml APV +0,10 ml S+ 0,05 ml G.

Nota: Los significados de las abreviaturas son: **A:** Almidón de la cáscara de yuca, **H₂O:** Agua destilada, **Q:** Quitosano, **P:** Propilenoglicol, **APV:** Alcohol polivinílico, **S:** Sorbitol, **G:** Glicerina. *Realizado por:* Autores

En la **tabla 21** se puede observar que el último biopolímero (muestra número 53) obtenido obtuvo una evaluación gratificante, por lo que se procedió a elegirla como producto final. Tras compararlas con el resto de resultados, se obtuvo que era un polímero resistente al quiebre, fue el bioplástico con el mejor resultado en resistencia tensil y a la comprensión sin tener ningún cambio al ser analizados. Además de esto fue importante mantener el grado de transparencia presente, debido a que es fundamental el impacto visual un nuevo material, con el fin de que sea aceptado adecuadamente por la sociedad.

Conjuntamente se procedió a realizar variaciones en la cantidad de los plastificantes a medida que se avanzaba con el número de muestras para mejorar las características de los resultados, como lo demuestra la **tabla 22**. Las características mejoradas con estas variaciones fueron: presencia de burbujas, viscosidad, resistencia tensil, transparencia y prevención de la fragmentación.

Tabla 22. Evaluación cuantitativa de las variantes realizadas con sus dosificaciones.

EVALUACION CUALITATIVA								
Número de muestra	Compuesto	de					Resistencia al quiebre	Dosificaciones
		Formación biopelículas	Transparencia	Resistencia tensil	Resistencia a compresión	la		
A1	A+H₂O	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	NO	0,10gr A+ 7 ml H ₂ O	
A2	A+H₂O	SI	ALTA	BAJA	MEDIA	NO	0,20gr A+ 7 ml H ₂ O	
A3*	A+H₂O	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	0,30 gr A+ 7 ml H ₂ O	
A4	A+H₂O	SI	ALTA	ALTA	ALTA	SI	0,40gr A+ 7 ml H ₂ O	
A5	A+H₂O	SI	BAJA	ALTA	BAJA	SI	0,50gr A+ 7 ml H ₂ O	
A6	A+H₂O	SI	BAJA	ALTA	BAJA	SI	0,77gr A+ 7 ml H ₂ O	
Q1	Q+C₂H₄O₂	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,04gr Q + 5 ml C ₂ H ₄ O ₂	
Q2*	Q+C₂H₄O₂	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	0,10 gr Q + 5 ml C ₂ H ₄ O ₂	
Q3	Q+C₂H₄O₂	SI	BAJA	ALTA	ALTA	NO	0,15 gr Q + 5 ml C ₂ H ₄ O ₂	
Q4	Q+C₂H₄O₂	SI	BAJA	ALTA	ALTA	NO	0,20 gr Q + 5 ml C ₂ H ₄ O ₂	
AQ1	A+H₂O +Q	SI	ALTA	BAJA	ALTA	NO	0,1 gr A + 2 ml Q + 7 ml H ₂ O	

AQ2	A+H₂O +Q	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	0,2 gr A + 2 ml Q + 7 ml H ₂ O
AQ3*	A+H₂O +Q	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	0,3 gr A + 2 ml Q + 7 ml H ₂ O
AQ4	A+H₂O +Q	SI	BAJA	ALTA	BAJA	SI	0,4 gr A + 2 ml Q + 7 ml H ₂ O
AP1	H₂O+A+APV1	SI	BAJA	ALTA	BAJA	SI	7ml H ₂ O + 0,3 gr A+ 2 ml APV1
AP2	H₂O +A+APV2	SI	ALTA	ALTA	MEDIA	NO	7ml H ₂ O + 0,3 gr A+ 2 ml APV2
AP3*	H₂O +A+APV3	SI	ALTA	ALTA	ALTA	NO	7ml H ₂ O + 0,3 gr A+ 2 ml APV3

Nota: (*) Muestras elegidas para mejorar las características en los ensayos. Los significados de las abreviaturas son: **A:** Almidón de la cáscara de yuca, **H₂O:** Agua destilada, **Q:** Quitosano, **P:** Propilenglicol, **APV:** Alcohol polivinílico. *Realizado por:*

Autores

Tras la experimentación realizada se observó características específicas de todos los plastificantes que serán descritas a continuación:

6.3.1 Glicerol

Este compuesto es un plastificante comúnmente usado para la elaboración de biopolímeros, que cuenta con características humectantes, evitando que el biopolímero tienda a fraccionarse. Es un plastificante de baja volatilidad con capacidad de estabilizar la mezcla debido a su interacción con los enlaces de hidrogeno, permitiendo la higroscopicidad en el resultado final.

Se observó que a medida que se incrementa la cantidad de glicerol la flexibilidad de las películas tiene a aumentar, demostrándolo en la muestra número **31**. Esto ocurre debido a que este compuesto poliol que funciona para unir cadenas, y logrando obtener resultados más homogéneos, humectados y con mayor flexibilidad. (Arrieta et al., 2018)

6.3.2 Sorbitol

En la añadidura de este plastificante se observó una tendencia en la que, al incrementar la cantidad de sorbitol la flexibilidad y resistencia tensil de las biopelículas aumentan, esto se pudo evidenciar en la muestra número **37**. Debido a que es un compuesto que cuenta con reducida masa molar (peso molecular 152 g/mol), y a su vez está compuesta por seis grupos hidroxilo, facilita la interacción intra e intermolecularmente mediante enlaces de hidrogeno, lo que provoca una favorable compatibilidad del plastificante con el almidón de cáscara de yuca.

6.3.3 Propilenglicol

Este plastificante no apporto positivamente al experimento, debido a que separa en fases la mezcla al momento del secado y opacaba el resultado, en las muestras número **11 y 15** se puede observar esta descripción. No permitía la gelidificación del almidón, por lo tanto, no forma películas ni da características especiales a la mezcla, por lo tanto, no se siguió ensayando con este plastificante, obteniendo como resultado las pruebas número **1 y 6**.

6.3.4 Alcohol polivinílico

Al aplicar este plastificante, se observó notablemente que las características físicas mejoraron, tales como flexibilidad y facilidad para formar películas. Sin embargo, este plastificante provocaba la existencia de burbujas en el bioplástico, lo que debilitaba al plástico. Se infirió que la presencia de la mayor cantidad de burbujas se dio lugar

principalmente al alcohol polivinílico, por lo se realizó 3 diferentes geles con las diferentes cantidades expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 23. Dosificación de gel de alcohol polivinílico

Gel De Alcohol	Dosificación
Polivinílico	
APV 1	100 ml H ₂ O + 4 gr APV
APV 2	75 ml H ₂ O + 4 gr APV
APV 3	125 ml H ₂ O + 4 gr APV

Realizado por: Autores

Tras obtener los resultados de los diferentes tipos de geles de alcohol polivinílico, se concluyó que a más concentración de alcohol polivinílico en la solución, tiende a producir mayor cantidad de burbujas. Por lo tanto, se usó el gel con dosificación de 125 ml H₂O y 4 gr APV dando lugar la dosificación llamada APV3. Esta dosificación se empezó a utilizar en la muestra número **41**, en donde se pudo obtener excelentes resultados en disminución de burbujas. Aportando de igual manera con la resistencia tensil y la flexibilidad del biopolímero.

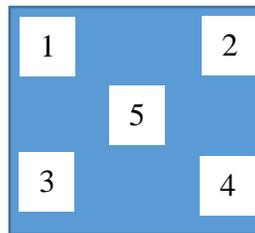
6.3.5 Quitosano

Este plastificante lo obtuvimos en forma sólida, el cual tuvimos que hidratar con ácido acético al 10 % hasta formar un hidrogel. Este hidrogel se usó como reticulante, aportando positivamente con el biopolímero, ya que dio características de viscosidad y mayor resistencia, disminuyendo la cristalinidad en el resultado, verificando dichas características en la muestra número **10** y utilizado como base de experimentación a partir de la muestra **15**.

6.4 Ensayo de dureza

Se realizó la prueba de dureza mediante el uso del durómetro Rex Portátil, teniendo en cuenta que dicha evaluación, es un ensayo claro y con bajo rango de error, en la cual bastaría con tomar un solo dato. A pesar de esto se decidió ensayar en 5 puntos diferentes de la superficie del biopolímero, con el fin de obtener un promedio de los resultados. Los puntos en los que se tomaron los valores fueron distribuidos de la siguiente manera:

Figura 34: Distribución de los puntos valorados en la prueba de dureza.



Realizado por: Autores

De esta manera se pudo conseguir un valor más certero acerca de la dureza del polímero. Estos resultados son los presentes a continuación en la **tabla 24**:

Tabla 24. Resultados obtenidos del ensayo de dureza Shore A

Número de punto	Valor de dureza	Tipo de dureza
1	46	
2	45	
3	46	
4	46	Shore A
5	45	
Promedio	45,6	

Realizado por: Autores

Obteniendo como resultado del promedio un valor de **45,6** de dureza shore A. En la **figura 36** se puede observar el durómetro y el biopolímero medido al momento del ensayo.

Figura 35: Ensayo de dureza del polímero elegido



Realizado por: Autores

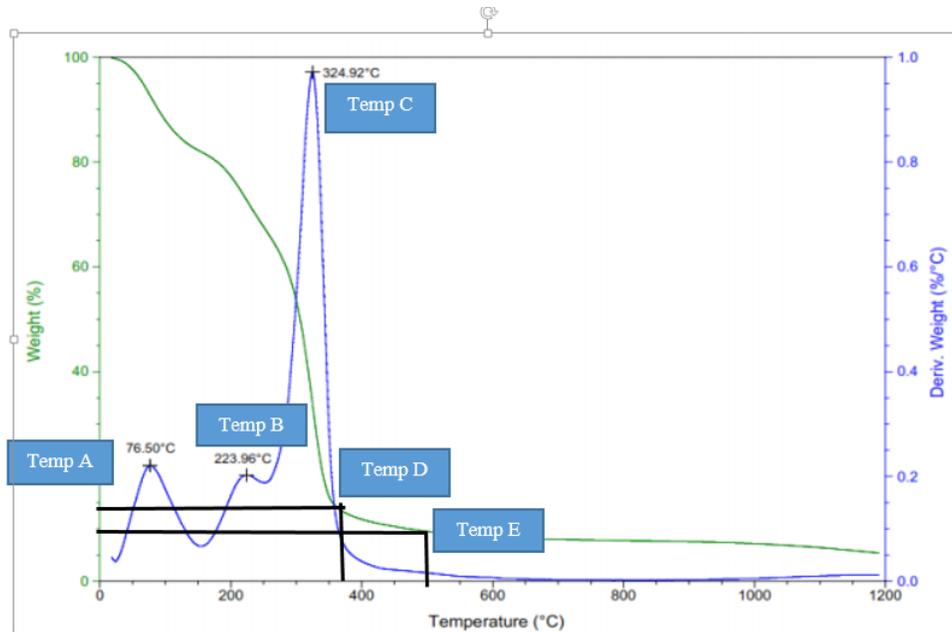
6.5 Prueba TGA

La prueba termogravimétrica fue realizada en el laboratorio de evaluación de materiales de la ESPOL se encuentra adjunta en el **apéndice B**.

6.5.1 Termograma

Para analizar el termograma graficado en la **figura 37** se recurrió al cálculo de la masa porcentual que se utilizó en el estudio que realizó (Villegas & Rodríguez, 2012) donde también se determina las pérdidas más representativas que en este caso las llamaremos A,B C, D y E.

Figura 36: Termograma de la biopelícula de residuos de yuca con agentes plastificantes



Realizado por: Autores

6.5.2 Cambio de masa porcentual

Para determinar el cambio de masa porcentual, se utilizó la masa de la muestra de la prueba TGA realizada en la ESPOL que fue 13,333 gr, además en base a las temperaturas se calcularon sus respectivas pérdidas de masa que se encuentran detalladas en la **tabla 25**. Dando como resultado una pérdida porcentual del 94,70% con un residuo del 5,3%. Estos procesos se realizaron en Excel las tablas se adjuntan en el **apéndice C**.

Al analizar la **tabla 25** con las pérdidas más importantes se puede notar que la primera variación considerable se da a una temperatura de 76.5° donde el biopolímero pierde un peso de 0.893 gramos. La pérdida C es el punto donde mayor cantidad de masa fue degradada con un total de 9,443 gramos.

Tabla 25. Temperatura de cambio de peso del biopolímero.

Pérdida A	76,5 °C	93,3 %	12,44 gr
Pérdida B	223,96 °C	74,1 %	9,88 gr
Pérdida C	324,92 °C	29,2 %	3,89 gr
Pérdida D	330 °C	8,5 %	1,13 gr
Pérdida E	376 °C	5,3 %	0,71 gr

Realizado por: Autores

6.6 Prueba de Biodegradabilidad

La prueba de biodegradación se basó en la norma ecuatoriana NTE INEN 2640 “Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. Para los procesos de cálculos y uso de fórmulas se utilizó el software “Microsoft Excel” las tablas se registraron en el **apéndice B**.

6.6.1 Carbono orgánico

El carbono orgánico se analizó mediante un UV visible con longitud de onda de 590 nanómetros con 8 concentraciones estándares. Para determinar el carbono orgánico se siguió una guía del estudio de (Aleman & Guido, 2015), donde comparar dos técnicas de cuantificación de la biodegradabilidad del biopolímero, se acogió la técnica con mejores tiempos y facilidades para integrarla en nuestro proyecto.

En base a la metodología usada se presenta en la siguiente **tabla 26** las principales variables para la fórmula del cálculo de carbono orgánico.

Tabla 26. Variables determinantes para el cálculo del carbono orgánico

Intersecto	Pendiente	Masa(g)
0,0375151	20,741	1

Realizado por: Autores

Dando como resultado un contenido de 0.08852 gramos de carbono en 1 kilogramo de tierra, este resultado será utilizado para el cálculo del porcentaje de biodegradación de la biopelícula de residuos de yuca con agentes plastificantes

En la **tabla 27** se anotó las variables determinantes para la prueba de biodegradabilidad.

Tabla 27. Variables determinantes para el cálculo de la capacidad biodegradativa del

Biopolímero

gr de Carbono en base a moles	0,08852 gr
% de C oxidado	0,89 %
Factor de corrección	1,3
% de C total en muestra	1,15 %
F M O	1,742
%Materia Orgánica	1,54 %

Realizado por: Autores

6.6.2 Porcentaje de biodegradación

El porcentaje de biodegradación se calculó en un periodo de 18 días donde la mayoría del biopolímero fue degradado por acción del compost orgánico dando un porcentaje de 84.272%. Se pueden obtener datos más específicos en la **tabla 28**.

Tabla 28. Prueba de biodegradabilidad biopolímero N° 53

HCl (ml)p1	KOH(ml) blanco	HCl(ml)blanco	G. CO2 (p1)	G. CO2 (blanco)	pH	% CO2 producido	CO2 teórico (gr con muestra de	% Biodegradación biopolímero	% Biodegradación acumulado BHET/AP
2,5	2	1,6	0,053	0,035	7,3	5,39	0,298	6,2624	6,262
			9	2			6		
2,5	2	1,6	0,055	0,035	8,0	5,5	0,298	6,6308	12,893
				2			6		
2,3	2	1,6	0,050	0,034	7,4	5,06	0,298	5,5256	18,419
			6	1			6		
2,4	2	1,5	0,052	0,033	6,9	5,28	0,298	6,6308	25,050
			8				6		
2,3	2	1,4	0,050	0,030	7,2	5,06	0,298	6,6308	31,680
			6	8			6		
2,3	2	1,6	0,050	0,035	7,8	5,06	0,298	5,1573	36,84
			6	2			6		
2,5	2	1,5	0,055	0,033	8,1	5,5	0,298	7,3675	44,205
							6		
2,4	2	1,7	0,052	0,037	7,4	5,28	0,298	5,1573	49,362
			8	4			6		
1,8	2	1,3	0,039	0,028	6,6	3,96	0,298	3,6838	53,046
			6	6			6		
1,8	2	1,4	0,039	0,030	8,1	3,96	0,298	2,9470	55,993
			6	8			6		
1,8	2	1,3	0,039	0,028	7,2	3,96	0,298	3,6838	59,677
			6	6			6		

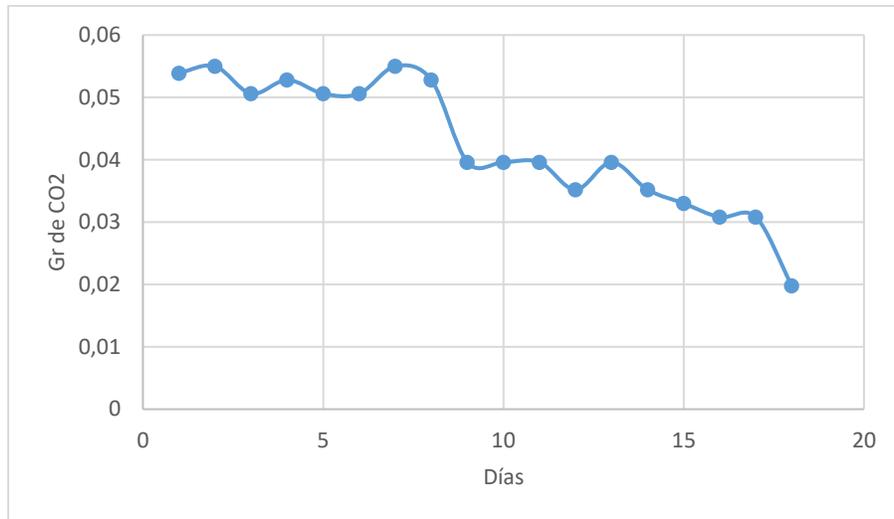
1,6	2	1,1	0,035	0,024	7,3	3,52	0,298	3,6838	63,361
			2	2			6		
1,8	2	1,2	0,039	0,026	8,4	3,96	0,298	4,4205	67,781
			6	4			6		
1,6	2	0,9	0,035	0,019	7,5	3,52	0,298	5,1573	72,939
			2	8			6		
1,5	2	1,1	0,033	0,024	7,1	3,3	0,298	2,9470	75,886
				2			6		
1,4	2	0,9	0,030	0,019	6,9	3,08	0,298	3,6838	79,569
			8	8			6		
1,4	2	0,9	0,030	0,019	8,1	3,08	0,298	3,6838	83,253
			8	8			6		
0,9	2	0,7	0,019	0,015	7,9	1,98	0,298	1,4735	84,727
			8	4			6		
Total de biodegradación=								%84,727	

Realizado por: Autores

Para un mejor entendimiento de la prueba expresada en la **tabla 28** se realizó gráficos de las variaciones más importantes a lo largo de la evaluación logrando obtener un biopolímero con una gran capacidad degradativa. Tanto para la producción de CO₂ del blanco como de P1 se usó la ecuación (5)

La producción de los gramos de CO₂ que se ilustran en la **figura 38** en P1 tomo una tendencia descendente lo que quiere decir que el CO₂ generado se redujo conforme el biopolímero se fue degradando. Los primeros 8 días de la prueba fue donde se generó más CO₂.

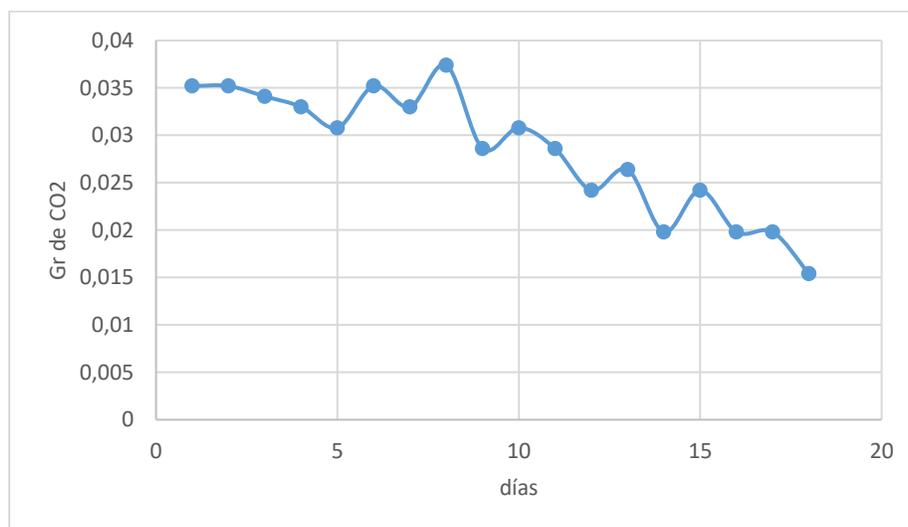
Figura 37: Gramos de CO₂ producido por las muestras (P1)



Realizado por: Autores

La producción de CO₂ detallada en la **figura 39**, se determinó al blanco que tomó una tendencia similar a P1 con la diferencia que la generación de CO₂ fue menor a las muestras (P1).

Figura 38: Gramos de CO₂ del blanco.

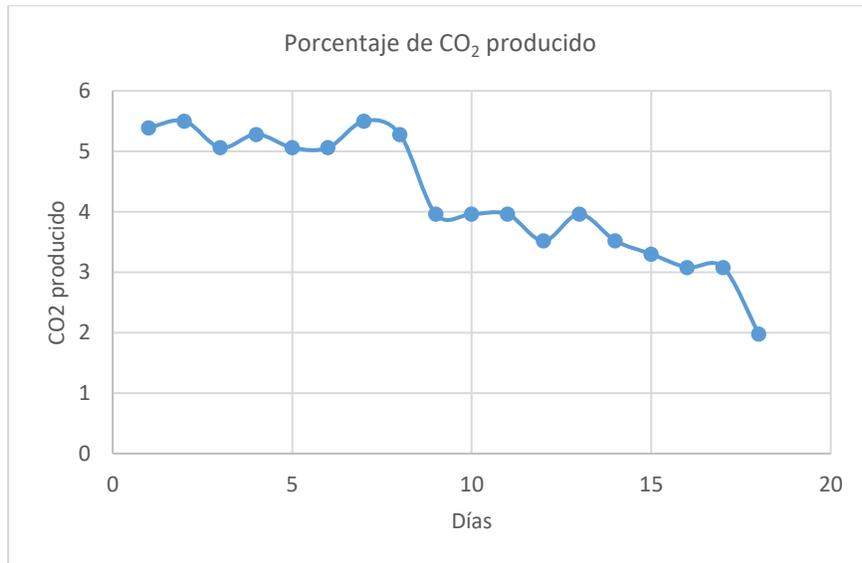


Realizado por: Autores

Durante los 18 días de experimento las muestras determinadas en la **figura 40** mostraron una progresiva reducción de generación de CO₂, pero esta no fue constante,

donde existió una variación considerable de CO_2 fue dada por los fines de semana cuyos días los laboratorios estaban cerrados. Para este punto los gramos de CO_2 se transformaron a porcentaje para una mejor visualización.

Figura 39: Porcentaje de CO_2 producido P1.

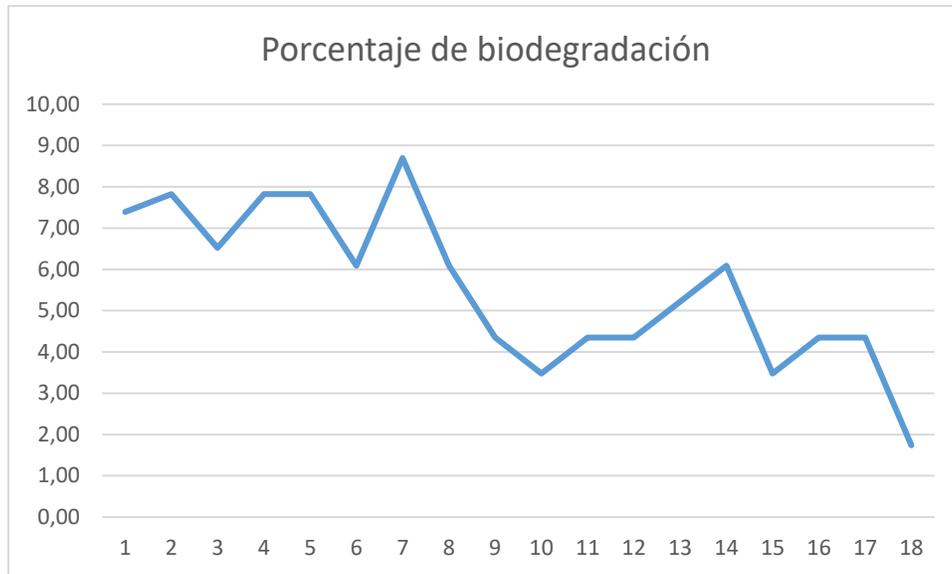


Realizado por: Autores

La capacidad de biodegradación del biopolímero escogido que se evidencia en la **figura 41** es elevada, esto, cuando el sustrato que se usa es compost orgánico, la biodegradación en los primeros 8 días es altamente activa, este fue el punto donde el biopolímero se hidrato y se adhirió a los gránulos de compost debilitando el material biopolimérico causando la fragmentación del mismo. Para el cálculo del mismo se usó la ecuación (4).

Donde $(CO_2)_M$ es la cantidad acumulada de dióxido de carbono en gramos que se produjo en cada montaje que contiene las muestras del biopolímero; $(CO_2)_B$ es la cantidad de dióxido de carbono en gramos producida en el montaje del blanco.

Figura 40: Porcentaje de biodegradación

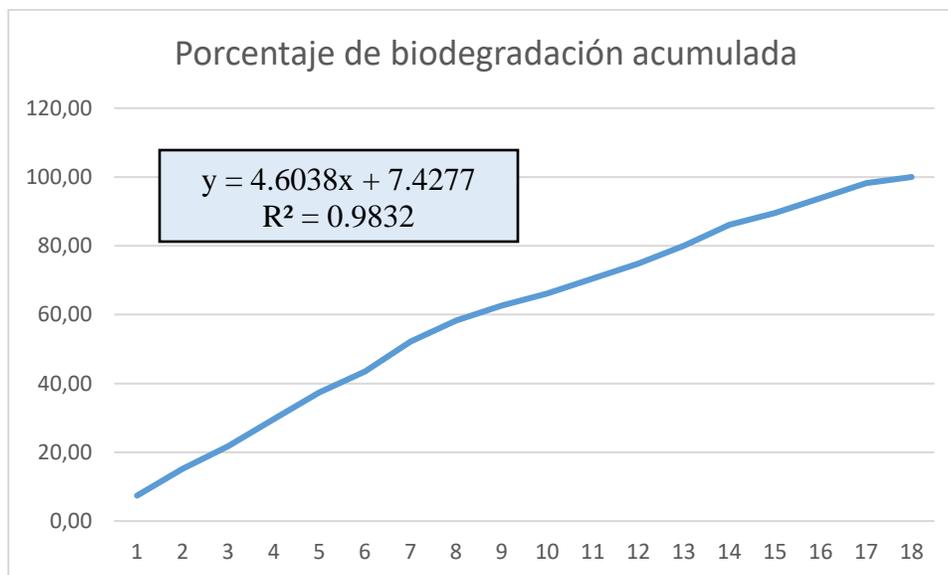


Realizado por: Autores

Durante los 18 días de prueba la capacidad biodegradativa del bioplástico fue creciendo exponencialmente hasta llegar un 84,7% como se encuentra establecido en la **figura 42**, la prueba se detuvo y se marcó una línea de tendencia donde se planteó la ecuación con un R aceptable, la misma que se utilizó para la proyección del día final de la biodegradación.

La biodegradación presenta una tendencia lineal ($y = 4,6038x + 7,4277$ $R^2 = 0,9832$) al despejar **X** obtenemos el día donde el biopolímero se degrada totalmente llegando a ser el día 20.

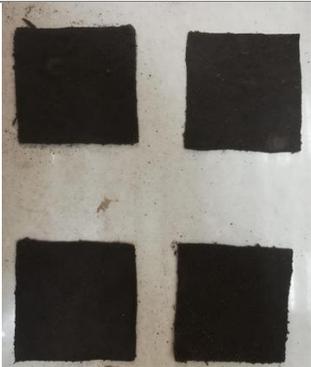
Figura 41: Biodegradación acumulada.

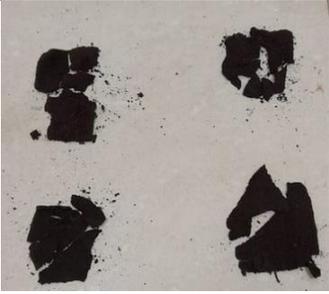


Realizado por: Autores.

6.6.3 Registro fotográfico de biodegradabilidad

Tabla 29. Fotografías de la degradación periódica del biopolímero

Fotografía	Descripción
1 	<p>Inicio de la prueba, al biopolímero escogido anteriormente se colocó en compost orgánico y se lo tapo con una delgada capa de tierra.</p> <p style="text-align: center;">(Día Cero)</p>
2 	<p>Al siguiente día el biopolímero se hidrató aumentando su tamaño y los gránulos de compost se pegaron al bioplástico.</p> <p style="text-align: center;">(Día 2)</p>

3		<p>Las muestras incrementaron de tamaño debido a su constante hidratación, las muestras se tornaron frágiles ya que comenzaron a fragmentarse</p> <p>(Día 4)</p>
4		<p>A partir de este momento las muestras se fragmentaron debido a su fragilidad, el proceso de biodegradación avanzo rápidamente, esto se verificaba visiblemente.</p> <p>(Día 6)</p>
5		<p>Las muestras de biopolímero se fragmentaron aún más y se tornó difícil encontrarlas en el compost, se dificulto realizar las respectivas mediciones.</p> <p>(Día 8)</p>
6		<p>La biodegradación se notó muy avanzado, los fragmentos se dificultaron encontrar por lo que el área del biopolímero se redujo.</p> <p>(Día 10)</p>

7		<p>El polímero se tornó muy frágil ya que al sacar la muestra para el registro, se pulverizaba hasta convertirse en tierra</p> <p>(Día 11)</p>
8		<p>La velocidad de biodegradación fue tan elevada que cada vez se volvía difícil encontrar los fragmentos de las muestras en el sustrato ya que al pegarse los gránulos de compost se descomponía y formaba parte del sustrato.</p> <p>(Día 13)</p>
9		<p>Para finalizar se registró el biopolímero con alto grado de degradación en este momento de la prueba se detuvo el registro fotográfico ya que el bioplástico dejó de conservar sus características iniciales y no se podía diferenciar del compost.</p> <p>(Día 15)</p>

Realizado por: Autores

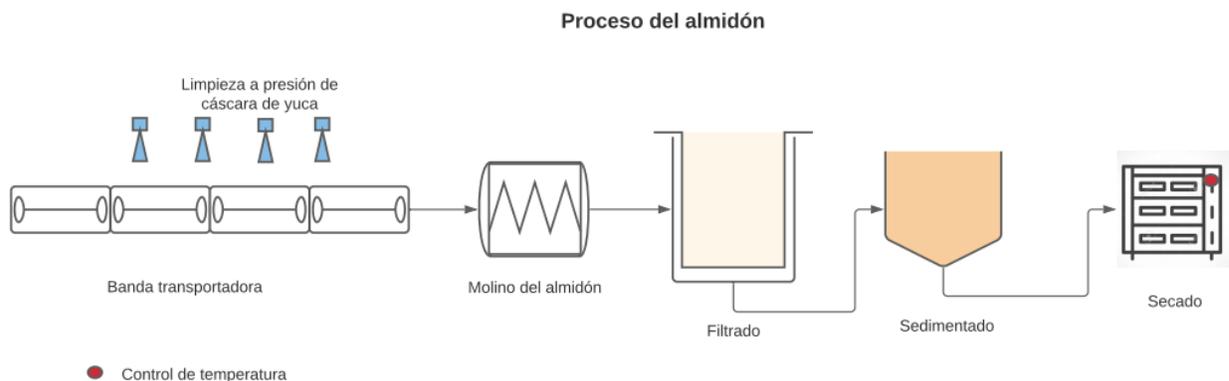
A partir del día 15 el registro fotográfico se detuvo debido a que ya no era posible diferenciar el biopolímero del compost.

6.7 Evaluar la viabilidad financiera del proyecto a escala industrial mediante indicadores y el análisis del punto de equilibrio.

6.7.1 Línea de producción

La línea de procesamiento del almidón consta de una banda transportadora cuya función es limpiar a presión la cáscara de yuca para eliminar impurezas, en el paso siguiente la cáscara entra al molino donde se tritura para que, en tercer lugar, la materia triturada pase al siguiente tanque que separa el almidón del resto de componentes insolubles, como siguiente paso tenemos la sedimentación, en este punto se separa el almidón del agua para así llevarle al horno donde se secará a 65°C, este sistema se puede apreciar en la **figura 42**. La producción considera para a línea de almidón fue de 50 kilos diarios.

Figura 42: Línea de producción del almidón

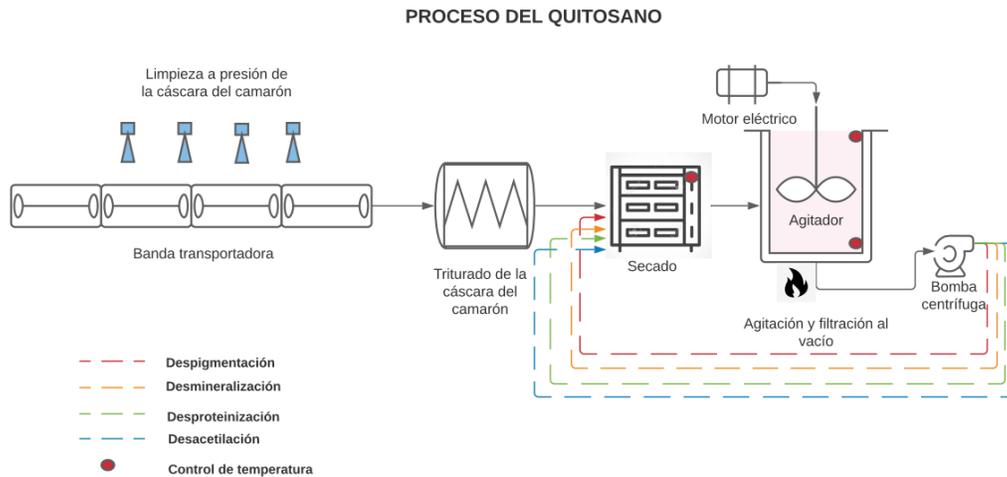


Realizado por: Autores

La línea de producción del quitosano consta de una banda transportadora que lleva los exoesqueletos y los lava a presión, en segundo lugar, los exoesqueletos se trituran y se llevan a la estufa para el secado y su posterior preparación para la desacetilación química cuyo proceso consta de un tanque con agitador eléctrico y una bomba centrífuga en este punto se lleva un control de temperatura. Este proceso se puede tasar de una mejor forma en la

figura 43. La cantidad de producción considerada para la línea de quitosano fue 10 kilos diarios

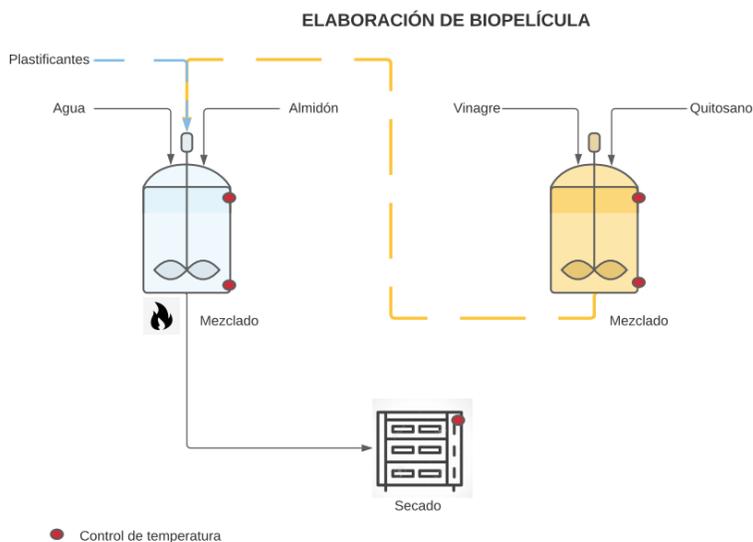
Figura 43: Línea de producción del quitosano



Realizado por: Autores

Para la elaboración de la biopelícula se usará como equipos un tanque con agitador eléctrico y un control de temperatura, paralelamente se tendrá otro tanque con las mismas características donde se gelatinizará el quitosano, este tanque se encuentra conectado al principal donde se homogeneizará todos los componentes y como paso final se llevará a la estufa para su secado y su respectivo almacenamiento, este proceso se puede evidenciar gráficamente en la **figura 44**. La cantidad de producción establecida para la línea de la biopelícula fue de 25 kilos diarios dando una producción de 500 kilos mensuales.

Figura 44: Línea de producción del biopolímero



Realizado por: Autores

6.7.2 Punto de equilibrio

Para el punto de equilibrio se determinó las siguientes variables que son: las unidades a vender, el costo fijo, el costo variable total, con las variables mencionadas se calcularon el costo total y el ingreso total. Se usó la herramienta de Excel para el cálculo de las fórmulas necesitadas en este punto, las tablas se adjuntaron en el **apéndice D**.

En la **tabla 30** se determinó los salarios fijos acorde a las leyes constitucionales del Ecuador, teniendo como trabajadores: una persona para administración y la contaduría de la empresa, además de una persona encargada de ventas y distribución dando un total de 1022.33 dls mensuales.

Tabla 30. Salarios fijos de la empresa

Salarios fijos						
Personal	Cantidad	Salarios	Seguro	Décimo cuarto	Décimo tercero	Total
	requerida					
Administrador/a- contador	1	400	44,6	33,33	33,33	511,27

Venta y distribución	1	400	44,6	33,33	33,33	511,27
					Total mensual	1022,53

Realizado por: Autores

En la **tabla 31** se fijó la cotización de las maquinarias para el proceso de producción de biopolímero teniendo dentro del proceso 1 tanque de acero de 1 m³, bomba al vacío, tuberías, una termocupla, un horno industrial, agitador, moldes y un motor. Dando un total en requerimiento de maquinaria de 6820 dls.

Tabla 31.Maquinaria para la producción de biopolímero

Proceso	Articulo	Unidades	Precio unidad (\$)	Total (\$)
Lavado	Banda transportadora	1	900	750
	Nebulizadores	20	10	200
	Compresor	1	330	300
Triturado	Molino industrial	1	500	500
Depuración agua residual	Sistema de tuberías	1	300	300
	Tanque de acero 1 m ³	2	400	800
Sedimentado	Tanque de acero	2	120	240
Filtrado al vacío	Estructura de acero	2	40	80
	Bomba al vacío	1	160	160
Sistema de calor	Tuberio de acero	1	300	300
	Termocupla	6	10	60
Secado	Horno industrial	1	1500	1500
Mezclado	Agitador	1	150	150
	Moldes	30	40	1200
	Motor	1	280	280
Total=				6820

Realizado por: Autores

En la **tabla 32** se realizó una síntesis de los costos fijos de la empresa (administración/contaduría, maquinaria y alquiler de la nave industrial) dando un total de 2345,34 dls.

Tabla 32. Costos fijos del proyecto

Costos fijos			
Variable	Rubro	Cantidad (\$)	
Costos fijos indirectos	Alquiler de nave industrial	500	
		Financiación al 1,338% mensual	633,36
		Maquinaria /36 meses	189,44
		Costos de venta y distribución	1022,53
	Gastos generales	Contaduría y administración	
Total		2345,34	

Realizado por: Autores

En la **tabla 33** se determinó los salarios variables de la empresa dando como resultados: dos personas contratadas, una para operar el sistema de producción biopolimérico y un ingeniero mecatrónico encargado del mantenimiento y avance tecnológico de la empresa. Como resultado dio un total de 1405.98 dls.

Tabla 33. Salarios variables

Salarios variables

Personal	Cantidad requerida	Salarios	Seguro	Décimo cuarto	Décimo tercero	Total
Operarios	1	400	44,6	33,33	33,33	511,27
Ing mecatronico	1	700	78,05	58,33	58,33	894,72
o						
Total mensual						1405,98

Realizado por: Autores

En la **tabla 34** se calculó el consumo de agua mensual en base al rango de consumo, el cargo por disponibilidad, cargo variable dio un total de \$ 210,44 mensual.

Tabla 34. Consumo aproximado de agua mensual

Consumo de agua aproximado mensual					
Categoría	Rangos de consumo (m³)	Consumo máximo	Cargo por disponibilidad (dólares/mes)	Cargo variable (dólares/m³)	Total a pagar mensual
Industrial	0 - 50	50	\$4,14	\$0,83	\$210,44

Realizado por: Autores

A continuación, en **la tabla 35** se registró el total de los insumos necesarios para la producción del biopolímero (alcohol, glicerina, sorbitol, PVA, HCL, KOH y vinagre) dando un total de \$ 265.72 por 100 kilos en dos días de producción, esto debido al tiempo que se necesita para la fabricación del quitosano, dando un promedio de 500 kilos mensuales. Esto puede variar dependiendo de las capacidades volumétricas establecidas en las máquinas y equipos utilizados para la producción de este tipo de biopolímero.

Tabla 35. Insumos para la producción del biopolímero.

Insumos

	Cantidad	Unidades	Precio	Cantidad usada	Precio por para 90 kg	Precio para 100 kg
Alcohol 80%	37850	MI	14	57000	21,08	23,43
Hcl	37850	MI	25	57000	37,65	41,83
Naoh	1375	Gr	0,35	285000	72,55	80,61
Vinagre	20000	MI	5	285000	71,25	79,17
Sorbitol	189000	MI	99	14500	7,60	8,44
Glicerina	37850	MI	15	7000	2,77	3,08
Alcohol polivinílico	1000	Gr	1,75	15000	26,25	29,17
				Total	239,15	265,72

Realizado por: Autores

En la **tabla 36** se realizó una síntesis del costo variable por kilo entre maquinarias – equipos e insumos que dio un total de 5.61 dls.

Tabla 36. Costos variables en la producción del biopolímero.

Costos variables (directos)	Rubro	Producción por kilo
Variable	Agua	0,08
Insumos	Electricidad	0,05
	Alcohol 80%	0,23
	HCl	0,42
	NaOH	0,81
	Vinagre	0,79
	Musolina	0,15
	Filtro (filtración al vacío)	0,02
	Sorbitol	0,08
	Glicerina	0,03

	Alcohol polivinílico	0,29
	Transporte	0,01
	Mantenimiento	0,04
Maquinaria y equipos	Análisis de calidad	0,45
	Mano de obra	2,11
	Envases	0,02
	Transporte de producto	0,01
	Total	\$5,61

Realizado por: Autores

Para el cálculo del punto de equilibrio se determinó en la **tabla 37** las variables utilizadas en la fórmula del PE. Con un costo fijo de 2345.34, un PVU de 6.20 dls, un CVU de 5.61 dls, las unidades necesarias para no perder ni ganar un total de 3975 unidades del producto, resultando un coste variable total de 22300.61 dls y un ingreso total de 24645, 95 dls.

Tabla 37. Variables determinantes para el cálculo del punto de equilibrio

Costo fijo	2345,34
Precio de venta unitario	6,2
Costo variable unitario	5,61
X	3975
Costo variable total	22300,6058
Ingreso total	24645,95

Realizado por: Autores

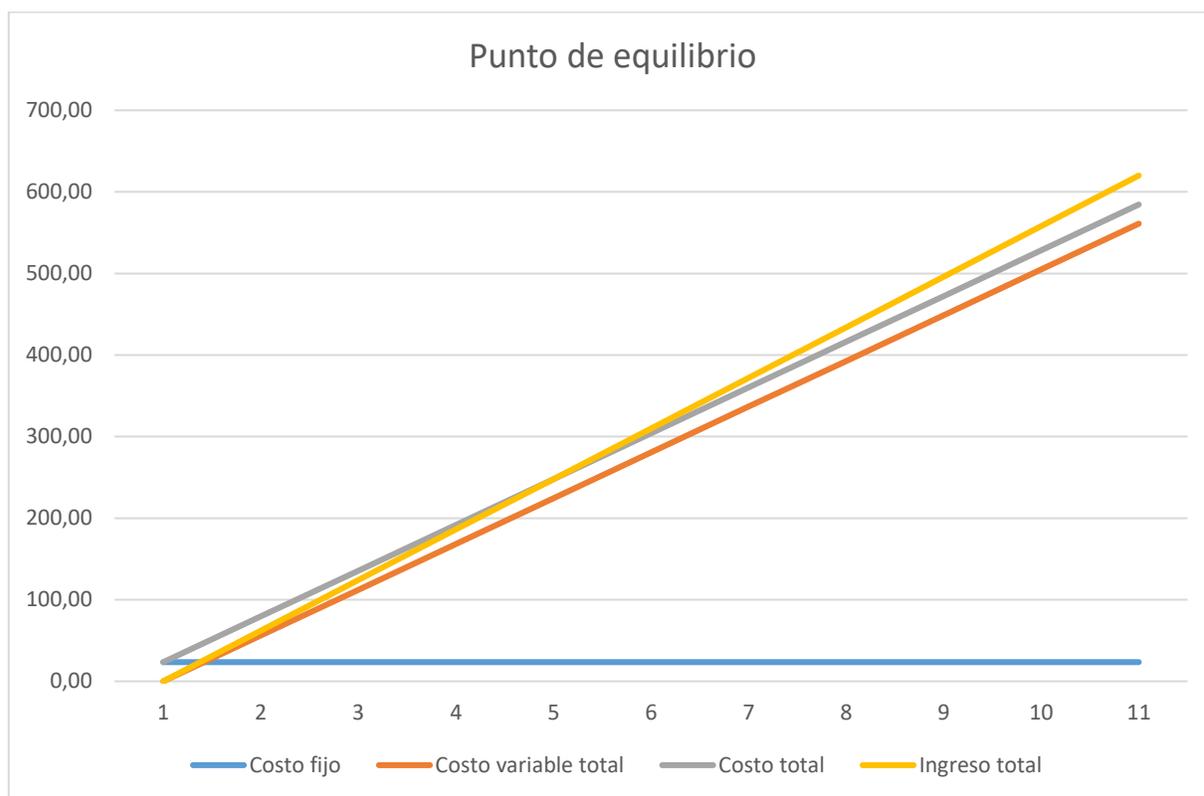
Se realizó una síntesis de cada variable necesario para el cálculo el punto de equilibrio todo esto en base a las unidades vendidas tal como lo expresa la **tabla 38**.

Tabla 38. Punto de equilibrio.

Unidades de venta 1kg	Costo fijo	Costo variable total	Costo total	Ingreso total
0	23,45	0,00	23,45	0
10	23,45	56,10	79,55	62
20	23,45	112,20	135,65	124
30	23,45	168,30	191,75	186
40	23,45	224,40	247,85	248
50	23,45	280,50	303,95	310
60	23,45	336,60	360,05	372
70	23,45	392,70	416,15	434
80	23,45	448,80	472,25	496
90	23,45	504,90	528,35	558
100	23,45	561,00	584,45	620

Realizado por: Autores

Se logró el punto de equilibrio al vender 40 unidades con un costo total de 247.85 dls y un ingreso de 248 dls. Esto quiere decir que al vender 40 unidades los ingresos y egreso se igualan, en este punto no se gana ni se pierde dinero. A partir de la **tabla 38** se graficó en la **figura 45** el punto de equilibrio para percibir de una mejor manera el balance entre el ingreso total y el coste final.

Figura 45: Punto de equilibrio

Realizado por: Autores

6.7.3 Indicador VAN

Para realizar el cálculo del VAN se realizó un flujo de caja de 6 años, el cual consiste en generar una proyección los ingresos y egresos de 6 años de una industria biopolimérica, a continuación, se presenta una síntesis anual de ingresos proyectados mensualmente **tabla 39**, los valores se pueden apreciar detalladamente en el **apéndice D**.

Tabla 39. Flujo de caja proyectado.

Año 1	4320,60
Año 2	12901,20
Año 3	21562,34
Año 4	29646,59
Año 5	38096,85

Año 6	46547,11
--------------	-----------------

Realizado por: Autores

Al medir el flujo de ingresos y gastos futuros y descontar la inversión inicial, el proyecto quedó una ganancia restante de \$ 78 168,99 entonces el proyecto es factible. Se consideró una producción inicial de 100 unidades aumentando cada mes un 10% de la producción inicial.

6.7.4 Indicador TIR

Para realizar el cálculo del TIR se realizó un flujo de caja de 6 años la misma que se utilizó para calcular el VAN, a continuación, en la **tabla 40** se expone el flujo.

Tabla 40. Flujo de caja simulado.

Año 1	4320,60
--------------	----------------

Año 2	12901,20
--------------	-----------------

Año 3	21562,34
--------------	-----------------

Año 4	29646,59
--------------	-----------------

Año 5	38096,85
--------------	-----------------

Año 6	46547,11
--------------	-----------------

Realizado por: Autores

Se midió la rentabilidad de la inversión mediante el TIR. El indicador obtuvo un porcentaje de ganancias del 62%, una tasa de interés aceptable, lo que quiere decir que la inversión no se perderá al poner en marcha el proyecto.

7. Discusión

7.1 Almidón

Según los resultados expuestos en la **tabla 41** el rendimiento de extracción es 20 % al comparar con estudios realizados por Trujillo (2014), en su tesis donde logra obtener un 25% de rendimiento usando la misma metodología de Aristizabal, J., & Sánchez, (2007). En

primer lugar, hay que diferenciar la materia prima, en este caso se usó las cáscaras de la yuca como principal materia además de pequeños trozos de yuca encontrados a diferencia de Trujillo (2014), ya que en sus estudios utilizaron directamente la pulpa del tubérculo. En segundo lugar, se toma en cuenta el grado de aprovechamiento de los desechos de la yuca. Se obtuvo una pequeña diferencia negativa en el rendimiento, la misma que se complementa por la facilidad y lo económico que resultó obtener los residuos de *Manihot esculenta*.

Tabla 41. Tabla de rendimiento

Entrada		Salidas			Rendimiento
Residuos de Yuca	Agua	Desechos	Agua	Almidón	
1000 gr.	3 lts	600 gr.	4 lts.	20 gr.	20%

Realizado por: Autores

7.2 Quitosano

Para la extracción del quitosano se utilizó el método de desacetilación empleado en estudios de P. López (2014), en su tesis “Obtención de quitosano a partir de desechos del exoesqueleto de camarón tití (*xiphopenaeus riveti*) para el desarrollo de películas poliméricas plastificadas con glicerina” Si comparamos este proceso con el estudio de Giraldo (2015), en su artículo “Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano”. El tiempo que se utilizó para extraer el quitosano a partir de la despigmentación es de 34 horas esto debido al tiempo que tarde el material en secarse, caso contrario en el estudio de Giraldo (2015), que demora un total de 90 horas en obtener quitosano sin contar la horas de secado, en comparación con el tiempo de proceso llevado a cabo en este proyecto de 34 horas.

Esto dio una noción de que para un proceso industrial de elaboración de bioplástico, el quitosano con un periodo de 90 horas de producción no será la mejor opción. Estos

procesos de alta purificación y un largo periodo de tratamiento químico tiene como aplicación principal el mercado de la medicina, esto debido a sus características de biocompatibilidad, biodegradabilidad y la toxicidad nula lo hacen útil para el tratamiento de reparación de quemaduras graves o problemas de piel esto según estudios realizados por Lemus et al. (2007).

7.3 Formación de biopelículas

Según Arrieta et al. (2018), las pruebas dosificativas en su estudio realizado demuestra que los plastificantes utilizados como sorbitol y glicerina, son compuestos que aportan con propiedades importantes de elongación, evitando la cristalinidad del almidón y humectando la biopelícula formada. De igual forma las biopelículas con quitosano dan propiedades antimicrobicas y antifúngicas que al tener contacto con polioles mejora las características físicas de las biopelículas (Celeste Aurora Matos González, 2020). Con la adición del alcohol polivinílico se obtuvo excelentes resultados variando en dosificaciones para mejoras visibles. En comparación con el producto obtenido, la muestra número **53**, las características físicas de flexibilidad, transparencia y elasticidad son mejores por la diversidad de compuestos que contiene. al igual que visiblemente es mucho más agradable por la transparencia del biopolímero y a la homogeneidad.

7.4 Prueba TGA

El análisis termogravimétrico representa una forma rápida de analizar la estabilidad térmica de los polímeros y puede usarse como una medida de la posibilidad de conversión a diferentes temperaturas del polímero.

El biopolímero estudiado llegó a una temperatura de degradación de 376 °C con un porcentaje de residuos del 5,3%. En otros estudios se reportan; por ejemplo, en una investigación de P. López (2014), en la cual, se trabajó con quitosano y glicerina a varias

concentraciones, su temperatura de degradación de sus muestras con glicerina se encuentran en un rango de 200 - 230 °C con un porcentaje de residuos del 20% esto con 1 ml del plastificante, en el estudio se redujo la cantidad de glicerina hasta un 0,2 ml, esto causó que el porcentaje de residuos incrementará a un 36%. En otro análisis que realizó Orozco (2000), donde se analizó las características físico químicas de un biopolímero a partir *Klebsiella pneumoniae*, dentro del análisis térmico se puede percibir una temperatura de degradación de 400°C con un porcentaje residual del 36%.

En este último estudio Cuevas, Carballo (2017), se realizó varias dosificaciones con el fin de determinar cómo influye la variación de glicerina y sorbitol en la degradación térmica del biopolímero, es decir que a mayor cantidad de glicerina en el biopolímero la temperatura de degradación subirá de una forma inestable y el proceso de degradación térmica se acelerará, caso contrario cuando se usa sorbitol como plastificante ya que este gracias a sus propiedades produce una estabilidad térmica en el plástico.

Si comparamos las temperaturas por ejemplo de un termograma de polietileno donde el inicio de su degradación térmica inicia a los 400°C y finalizando a los 750°C con un porcentaje del 25% de residuos. Esto es un gran problema para el medio ambiente debido a la persistencia del mismo material, también dentro un estudio del efecto compatibilizante del PP y las fibras de cerdo Caicedo, et al. (2016), dentro del TGA se evaluó una temperatura de degradación de 295°C con un residuo del 3,4%, esto quiere decir que como la descomposición de presenta a una temperatura temprana la degradación será más acelerada motivo por el cual existe un menor porcentaje de residuos. Al tratarse de la biopelícula de estudio, esta al poseer sorbitol y alcohol polivinílico que son los causantes de estabilizar el proceso de degradación haciendo a la película apta para un proceso industrial. Los

termogramas fueron analizados de resultados de investigaciones, publicadas en el II Simposio de Materiales Poliméricos en Cali Colombia.

7.5 Prueba de Dureza

Tras obtener los resultados de la prueba de dureza Shore A de 46° se puede comparar con polímeros industriales como es el caucho natural (NR) de CALVOSEALING con una dureza de 45°, que cuenta con excelentes propiedades mecánicas como carga de rotura, elasticidad y resistencia al desgarro, excelentes propiedades eléctricas, alta resiliencia, excelentes propiedades dinámicas y baja deformación remanente. Y con posibles aplicaciones para aceites, combustibles y ácidos y álcalis moderados.

7.6 Prueba de biodegradabilidad

El polímero producido tiene un periodo de degradación de 20 días según la línea de tendencia creada a partir de la biodegradación acumulada, aquella posee una tendencia lineal, esto con un 84% del polímero biodegradado en condiciones de laboratorio. En el artículo de Merchan et al. (2009), se realizó un bioplástico a partir de almidón y glicerina en el estudio se llevó a cabo la evaluación de biodegradabilidad aquel presentó 3 biopolímeros de almidón con glicerina en varias dosificaciones, el período de biodegradación se vio afectado por la cantidad glicerina utilizada. El biopolímero con un porcentaje mayor de glicerina se degrado más rápido en un periodo 21 - 23 días según el estudio.

Cabe mencionar que el sustrato utilizado en la evaluación de la biopelícula fue compost orgánico con una alta cantidad de materia orgánica, la que aceleró el proceso de biodegradación. Otras muestras se guardaron en bolsas herméticas, las que después de 1 mes almacenadas no perdieron sus características iniciales. En otro estudio de Proaño, (2017), que evalúa la biodegradabilidad de biopolímeros formulados a partir de ácido poliláctico (PLA) con almidón de: achira, banano y oca se tuvo un periodo degradativo de 56 días. Como

punto importante cabe destacar que la glicerina es un factor importante en la velocidad de biodegradación de las muestras.

7.7 Evaluación financiera

Se trató varios puntos de interés, como primero se analizó el costo de inversión mediante el VAN y el TIR dando un resultado positivo con un precio de venta de 6.20 dls el kg de biopolímero, el precio de polietileno se encuentra a 2.75 dls el kg, esto al comprar 1 tonelada de polietileno. La diferencia es aproximadamente el doble de su precio. Cabe resaltar un hecho importante, y es el que las alternativas al uso de plástico cada vez son mayores mientras que la materia prima de los polímeros comunes se agota mientras el consumo energético de la sociedad crece, en estudios realizados por Benavides (2008), da una proyección del decrecimiento de los niveles de petróleo en períodos relativamente cortos, trayendo consecuencias de incremento en el precio del barril. Esto ha llevado a los países con más consumo de petróleo a utilizar crudo de menor calidad a precios altos. Se realizó una comparación del precio del petróleo en el año de 1998 que era \$10 y el precio en el año 2008 que es \$100, un costo 10 veces mayor, que ha crecido durante 12 años. Al tratar las proyecciones de este estudio el consumo de barriles de petróleo se incrementará notablemente y con ello el precio de cada uno. El proponer una alternativa de menor impacto fortalecerá y minimizará el impacto de la reducción de petróleo, enfocando su uso en lugares claves como, por ejemplo, el mercado de combustibles, además de polímeros con un tiempo de uso prolongado, entre otros. Productos biodegradables como la biopelícula producida tendrán un gran impacto a futuro en el mercado industrial y Azuay-Ecuador ha dado un gran paso con la ordenanza que indica una producción gradual de plástico con material reciclado o con materiales biodegradables, esto con el propósito de contribuir al cuidado del ambiente.

Este tipo de material producido en este proyecto puede ser utilizado como alternativa a los materiales hidrosolubles que habitualmente están compuestos por polímeros sintéticos como ejemplo se tiene el acrílico, estos son materiales usados en los hospitales, que encargadas de evitar infecciones al manipular textiles contaminados.

8. Conclusiones

Lo expuesto anteriormente a largo de este proyecto de investigación permite concluir de la siguiente manera:

En cuanto a la obtención de un biopolímero a base de almidón y su posterior adición de plastificantes, se logró 53 muestras por medio de la experimentación. De las cuales, se eligió la dosificación número 53 (0,3 gr + 7 ml H₂O + 2 ml Q + 0,15 ml APV + 0,10 ml S + 0,05 ml G) como mejor biopolímero, debido a su alta flexibilidad, transparencia y resistencia a la tensión y compresión.

Por lo tanto, se concluye que las películas constituidas exclusivamente de almidón y agua, debido a su fuerte cohesión intermolecular, presenta una textura rígida y quebradiza, por lo que es necesario agregar aditivos plastificantes y reticulantes para mejorar las características físicas, ya que reducen los enlaces de hidrógeno internos en la cadena del polímero. Aumentando al mismo tiempo la transparencia del biopolímero.

1. Respecto a las propiedades termo-mecánicas del polímero se determinaron análisis de estudio tales como dureza y termogravimétricos. En las que se obtuvo como resultado una dureza de 45,6 Shore A y el ensayo termogravimétrico se evidencia la resistencia del biopolímero a la temperatura, en donde la primera variación considerable se da a una temperatura de 76.5 °C. Lo que permite concluir que el biopolímero cuenta con características similares a los plásticos fabricados

industrialmente, como: fácil manipulación, termoresistente, material de bajo peso molecular y bajo costo de producción.

2. Referente a la determinación del grado de biodegradabilidad en función a la emisión de CO₂, se obtuvo el 84,7% de biodegradación en 18 días visibles y con estos resultados se determinó que a los 20 días el biopolímero estaría completamente degradado. De esta manera se concluye que el biopolímero obtenido se degrada más fácilmente que los plásticos convencionales tomando en cuenta que un plástico derivado del petróleo tiene un tiempo aproximado de 100 años para su descomposición. Lo que hace que esta investigación aporte con productos amigables con el ambiente.
3. En relación con la evaluación financiera del proyecto, se realizó análisis importantes como el VAN y el TIR. En donde los resultados obtenidos resaltan que, en el caso de ser un proyecto a poner en marcha será factible por su total de ganancias (\$ 78 168,99), de igual manera la rentabilidad de la inversión tendrá el 62 % de ganancias sin probabilidad de pérdida de inversión.

De esta manera se puede concluir que, el ámbito financiero de un proyecto es relévente con el objetivo de que los nuevos proyectos eco-amigables, no solo permanezcan en ideas, sino que se logren ejecutar y se puedan implementar, empezando así el cambio en la sociedad. Así es como esta investigación da paso a generar una nueva visión empresarial y a su vez una nueva línea de investigación en la cual se podría hacer de este proyecto más rentable.

4. De acuerdo a todos los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que el bioplástico realizado tiene características similares a los polímeros fabricados industrialmente como el polietileno y el polietenol, esto debido a las pruebas de

dureza, termogravimétrica y biodegradable. Lo cual amplía los horizontes de investigación con el conocimiento de aplicaciones de dichos plásticos.

5. Bibliografía

Alemán, I., & Guido, F. (2015). *Comparación de dos técnicas para la determinación de carbono orgánico del suelo, en el LAFQA departamento de química, Unan-Managua, septiembre -diciembre, 2015.*

Amaya, J. B. (2018). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un

polímero de tipo termoplástico. *Revista colombiana de química*, 48(1), 43-51.

Anwer, S., Bakr, N., & Human, H. (2018). Physical Sciences DSC and TGA Properties of PVA Films Filled with $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Salt. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 8.

https://www.researchgate.net/publication/323808560_Section_C_Physical_Sciences_DSC_and_TGA_Properties_of_PVA_Films_Filled_with_Na_2_S_2_O_3_5H_2_O_Salt

APPA. (2020). *Tipos de fuentes de energía renovable*.

Arias, O., Mendoza, A., Gracia, R., & Durán, M. (2013). Comparación de diferentes agentes plastificantes adicionados en esponjas de quitina obtenidas de cefalotórax de camarón. *Química Central*, 3(1), 11-18.

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/QUIMICA/article/view/1200/1191>

Aristizabal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*.

Arrieta, Á., Durango, L., & Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) Study of absorbing properties of a biopolymer based on cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz). *Espacios*, 39, 15.

Azueta, R., Hernández, K., & Pérez, K. (2013). *Síntesis y caracterización de un biopolímero a partir del almidón de yuca* (Número 1).

Barbosa, M., Espinosa, A., Malagón, D., & Moreno, N. (2005). *Producción de poli-β-hidroxibutirato (PHB) por Ralstonia Eutropha ATCC 17697*. 10(1), 45-54.

- Batuani, R. (2015). *Estudio de la obtención de plásticos biodegradables a partir del almidón de la papa por adición de agentes plastificantes*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z., & Corona-Rangel, M. L. (2017). Chitosan: a versatile antimicrobial polysaccharide for fruit and vegetables in postharvest-a review Qitosano: un polisacárido antimicrobiano versátil para frutas y hortalizas en poscosecha-una revisión: a versatile antimicrobial polysaccharide for fruit and vegetables in postharvest-a review. *Chitosan Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(6), 103-121. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>
- Benavides, P. (2008). *¿ Se acaba el petroleo ?* 13.
- Bernal, C. R., Morales, D., Cuellar, L., & Jaramillo, S. (2017). Hidrólisis enzimática de almidón. *Revista de Investigación*, 10(1), 129-140. <https://doi.org/10.29097/2011-639x.70>
- Carlos Alvarez, J. (2016). *Ficha de Datos de Seguridad: propilenglicol*.
- Celeste Aurora Matos González. (2020). *Revisión de literatura: Biopelículas a base de quitosano como potencial aplicación en empaque de alimentos*. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6907/1/AGI-2020-T029.pdf>
- Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de la patata*.
- Cook, E. ., & Martin, E. . (s. f.). *Farmacia práctica de Remington*.
- Cuevas, Carballo, B. Z. (2017). *Obtención y caracterización de almidones termoplásticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliésteres biodegradables*. 91.

https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/466/1/PCM_D_Tesis_2017_Cuevas_Zujey.pdf

El Comercio. (2019). *Desechos Plásticos y Galápagos*.

<https://www.elcomercio.com/tendencias/plastico-contaminacion-especies-galapagos-desechos.html>

El Mercurio. (2019). Recolección de Plásticos de los ríos. *Recolección de Plásticos de los ríos*. <https://ww2.elmercurio.com.ec/>

FARMAQUIMICA. (2015). *Acido glicólico*. 1-6.

Fernandez, C., & Bautista, P. (2014). *Metodologia de la investigacion* (6ta ed.).

<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Fernández, L., & Ruiz, E. (2016a). *Desarrollo de materiales bioplásticos proteicos con elevada capacidad de absorción de agua*.

Fernández, L., & Ruiz, E. (2016b). *Desarrollo de materiales bioplásticos proteicos con elevada capacidad de absorción de agua*.

Ficha técnica propilenglicol. (2020). <https://quimicauniversal.cl/www/wp-content/uploads/2020/07/Ficha-Tecnica-Propilenglicol-2020.pdf>

Galvis, N. (2014). *Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen* [Universidad EAFIT]. <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/8278>

García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*.

Giraldo, J. (2015). *Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano*.

University of Concepcion, MAY. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3350.9287>

- Hernan, E., & Manosalvas, C. (2011). *Análisis de los elementos elastómeros utilizados en aisladores y neoprenos*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Hernández, E., Cruz, R., Robledo, F., & Santoyo, L. (2007). Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 38(2), 15-25. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57938203>
- Hernández, J. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de yuca (Manihot esculenta Krants) en la provincia de Manabí*.
- Hernández, M., Torruco, J. G., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300031>
- INEC. (2014). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. En *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1974.v2n2-09>
- INEC. (2018). *Plan V*.
- Knowles, M. M., Pabón, M. L., & Carulla, J. E. (2012). Uso de la yuca (Manihot esculenta Crantz) y otras fuentes de almidones no convencionales en la alimentación de rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*.
- Lemus, J., Martínez, L., Navarro, M., & Posadas, a. (2007). Obtención y uso de quitosano para tratamientos dérmicos a partir de exoesqueleto de camarón. *Boletín Electrónico N° 07, 07*, 1-13.

- Loja, D., & Muñoz, W. (2013). *Estudio de factibilidad financiera y económica para la creación de una planta productora de eco fundas basadas en el bioplástico en el cantón Cuenca* . Universidad Politécnica Salesiana.
- López, F. (2005). *Química*.
- López, P. (2014). *Obtención de quitosano a partir de desechos del exoesqueleto de camarón tití (*xiphopenaeus riveti*) para el desarrollo de películas poliméricas plastificadas con glicerina*.
- Luque Guillen, M. V. (2011). Estructura Y Propiedades de las Proteínas. *Bioquímica Médica*, 5, 1-162.
- Mallo, P. E., Artola, M. A., Galante, M. J., Pascual, M. E., Morettini, M., & Busetto, A. (2004). Análisis de Costo-Volumen-Utilidad bajo condiciones de Incertidumbre. *XXVII Congreso argentino de profesores universitarios de costos*, 22.
- Martínez-Ortiz, J., Aires-da-Silva, A. M., Lennert-Cody, C. E., & Maunder, M. N. (2015). The Ecuadorian Artisanal Fishery for Large Pelagics: Species Composition and Spatio-Temporal Dynamics. *PLOS ONE*, 10(8), e0135136.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135136>
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Soil organic carbon and soil properties. *J. Soil Sc. Plant Nutr*, 8(1), 68-96.
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, 27, 56-62.
<https://doi.org/10.16924/revinge.27.6>

- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, 8, 57-67.
- Merchan, J. P., Ballesteros, D., Jimenez, I. C., Medina, J. A., & Álvarez, O. (2009). Estudio de la Biodegradación Aerobia de Almidón Termoplástico (TPS). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009*, 1(1), 39-44.
<http://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N1/RLMMArt-09S01N1-p39.pdf>
- Micocci, L. (2018). Biomoléculas: carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. *Química biológica*, 6-7. http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/medicina/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/Quimica_09.pdf
- Muñoz, X., Hinostroza, F., & Mendoza, M. (2017). La yuca en el Ecuador: su origen y diversidad genética. *Instituto Nacional de Actividades Agropecuarias*, 1-18.
- Murilla, M., & Carracedo, G. (2005). Ácido láctico y poliláctico: Situación actual y tendencias. *ICIDCA : Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 49-59.
- ONU. (2018). *PLÁSTICOS DE UN SOLO USO Una hoja de ruta para la sostenibilidad*.
- Pacheco, G. . (2014). *Biolplásticos*. Universidad Autónoma de México.
- Palma, F. (2016). *Estudio de la interacción entre plastificantes y polímeros formadores de una película comestible mediante la correlación entre sus parámetros espectroscópicos y mecánicos*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Paola Navia, D. P., & Samuel Villada, H. C. (2013). Impacto da embalagem biodegradável pesquisa de ciência, tecnologia e inovação artículos de reflexión. En *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 11, Número 2).

- Poma, M. (2017). Ensayos Mecánicos: Pruebas Termomecánicas . *Cite Energía*.
<https://issuu.com/citeenergia/docs/ensayos-mecanicos>
- Proaño, E. (2017). *Evaluación de la biodegradabilidad de biopolímeros formulados a partir de ácido poliláctico (PLA) con almidón de: achira, banano y oca*. 121.
- Ramirez, C., Delgado, E., & Andrade, A. (2016). Determinación del grado de desacetilación de quitosana mediante titulación potenciométrica, FTIR y Raman. *Journal CIM*, 4(1), 774.
https://www.researchgate.net/publication/309493340_Determinacion_del_grado_de_desacetilacion_de_quitosana_mediante_titulacion_potenciometrica_FTIR_y_Raman
- Rivera, A., & Serrano, A. (2018). *Poly(3-Hydroxybutyrate-co-3-Hydroxyvalerate): Enhancement Strategies for Advanced Applications*.
- Rodríguez, C., & Lemus, D. (2017). *Evaluación de la obtención de POLIHIDROXIALCANOATOS (PHAs) partiendo del residuo de almidón de papa por medio de Bacillus subtilis a nivel laboratorio*. 12(1), 145.
- Rodríguez, T. (s. f.). *Reacciones de Sustitución Nucleófila en Síntesis Orgánica*.
- Romero, N. (2018). *Determinación de plastificantes en films poliméricos*. UNIVERSIDAD DE JAÉN.
- Romero Sevilla, M. L., Sánchez Cuadra, S. M., & Benavente Silva, M. (2018). Aplicación de quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías. *Nexo*, 31, 104-119.
- Ruiz, G. (2006). Obtencion y caracterizacion de un polimero biodegradable a partir del

almidon de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2, 5-28.

Sánchez, M., Sánchez, M. T., & Pinto, G. (2013). Reactivo de Lugol: Historia de su descubrimiento y aplicaciones didácticas. *Educación Química*, 24(1), 31-36.

[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(13\)73192-6](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(13)73192-6)

Shimazu, A. A., Mali, S., & Grossmann, M. V. E. (2007). Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. *Semina: Ciências Agrárias*, 28(1), 79. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p79>

Tejada, C., Montiel, Z., & Acevedo, D. (2016). Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb(II). *Informacion Tecnologica*, 27(1), 9-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100003>

Tejada, I., & Brambila, S. (2010). *Investigaciones acerca del valor nutritivo de la yuca para el pollito*. 5-11.

Vanegas Hinojosa, M. G. (2014). *Obtención de películas biodegradables a partir de mezclas de quitosano de cáscaras de camarón y agentes plastificantes*. [Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2872>

Villegas, E., & Rodríguez, E. (2012). *Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico*. 25-32.

Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine Drugs*, 13(3), 1133-1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>

10. Apéndice

10.1 Apéndice A: Registro fotográfico biopelículas

Figura 46: Dosificación Muestra #0

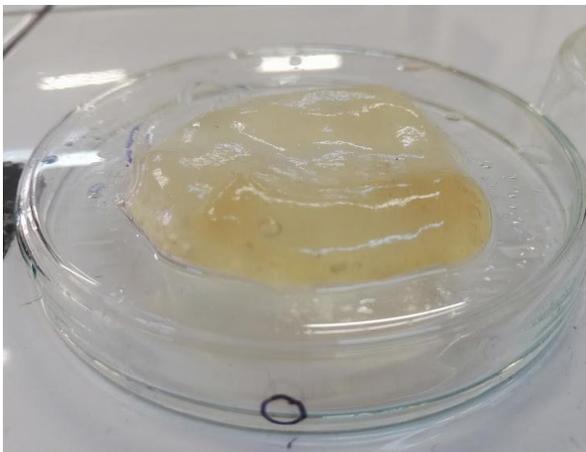


Figura 47: Dosificación Muestra #1

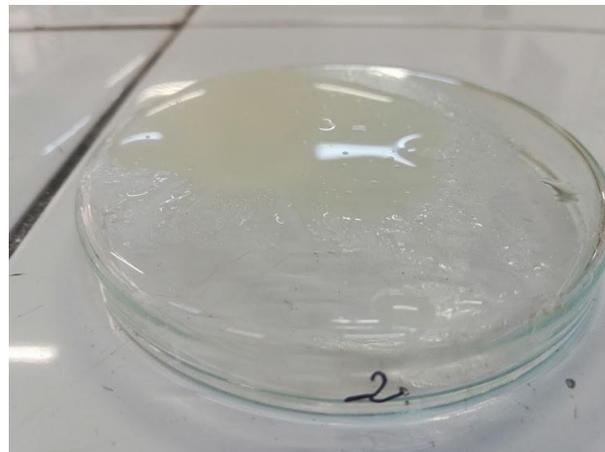


Figura 49: Dosificación Muestra #3



Figura 48: Dosificación Muestra #2

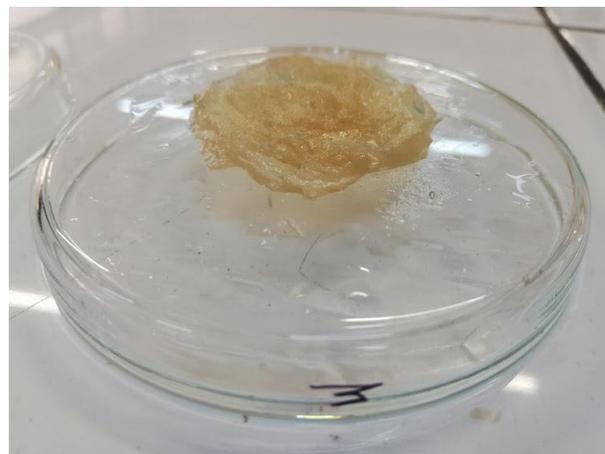


Figura 50: Dosificación Muestra #4

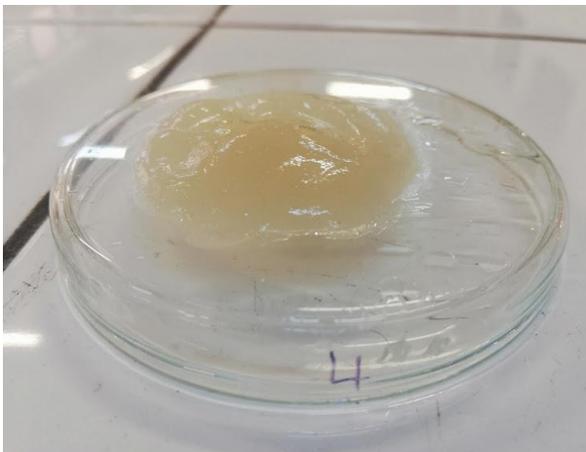


Figura 51: Dosificación Muestra #5

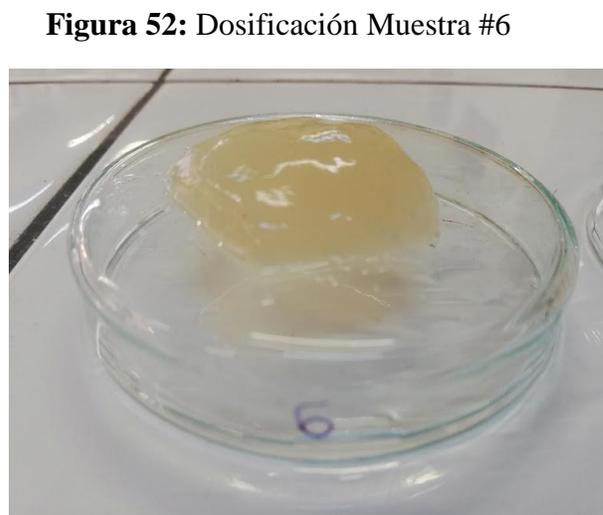
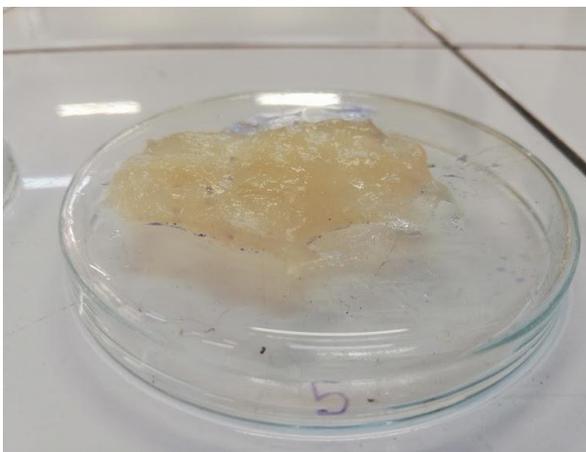


Figura 52: Dosificación Muestra #6

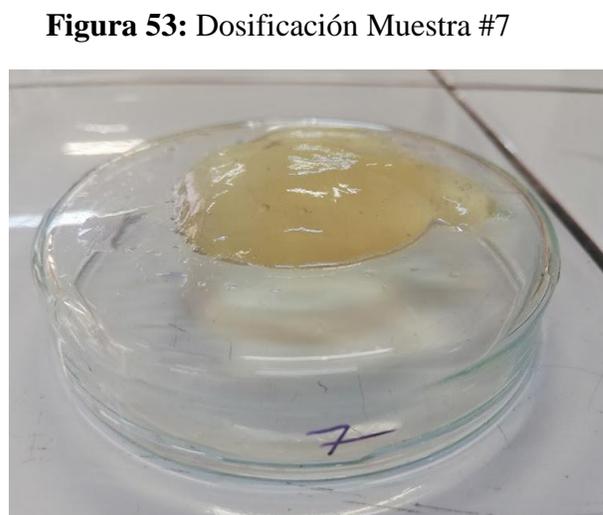


Figura 53: Dosificación Muestra #7

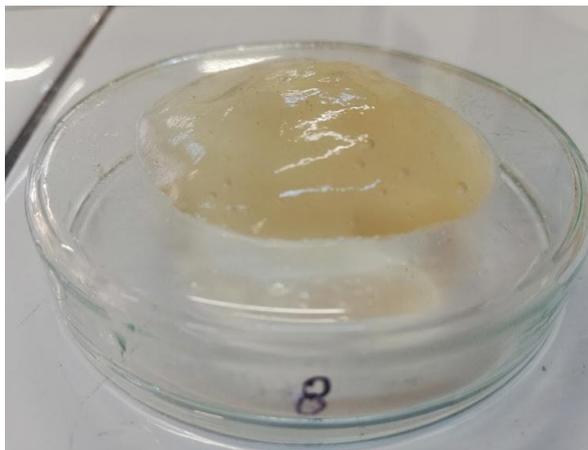
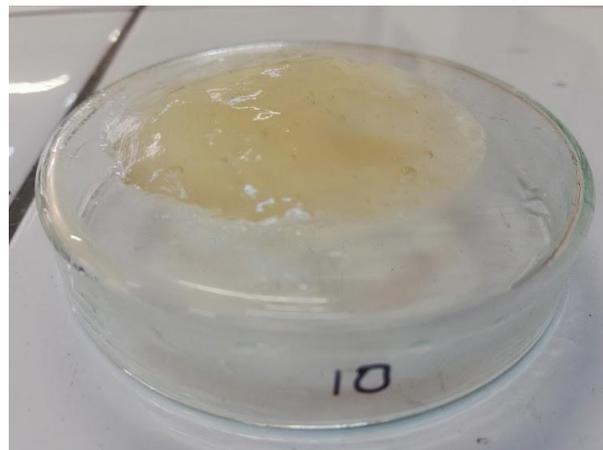
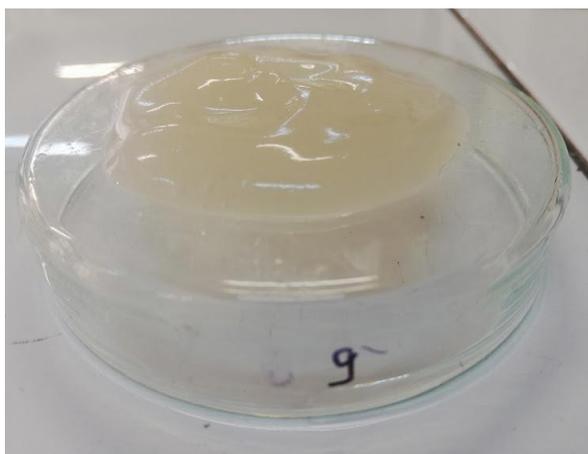
Figura 54: Dosificación Muestra #8**Figura 56:** Dosificación Muestra #10**Figura 55:** Dosificación Muestra #9**Figura 57:** Dosificación Muestra #11

Figura 58: Dosificación Muestra #12

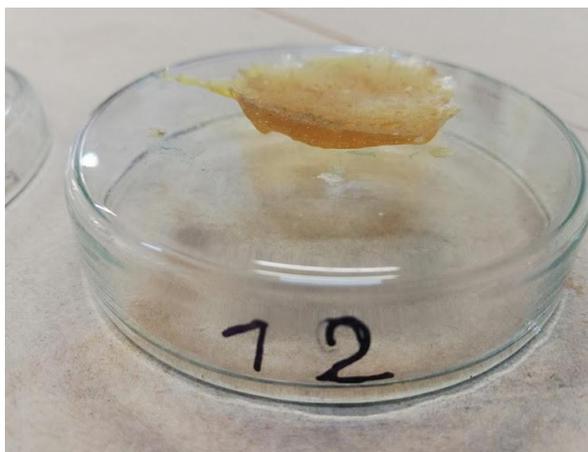


Figura 60: Dosificación Muestra #14



Figura 59: Dosificación Muestra #13



Figura 61: Dosificación Muestra #15



Figura 62: Dosificación Muestra #16

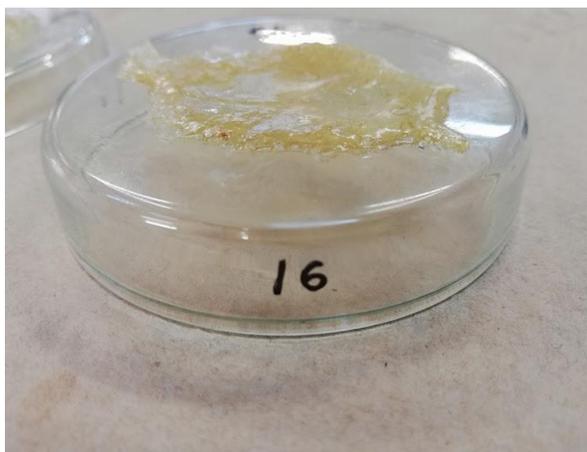


Figura 64: Dosificación Muestra #18



Figura 63: Dosificación Muestra #17



Figura 65: Dosificación Muestra #19

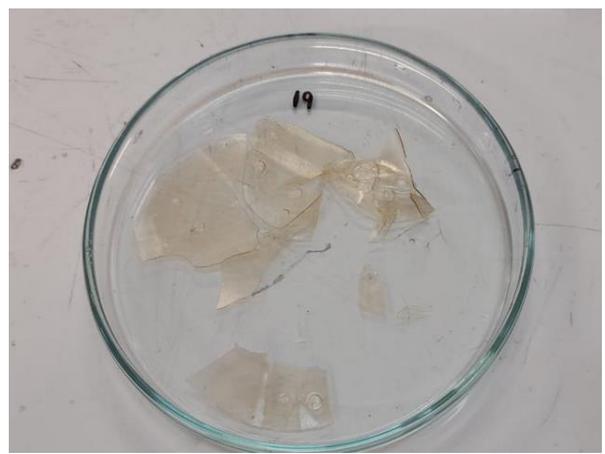


Figura 66: Dosificación Muestra #20

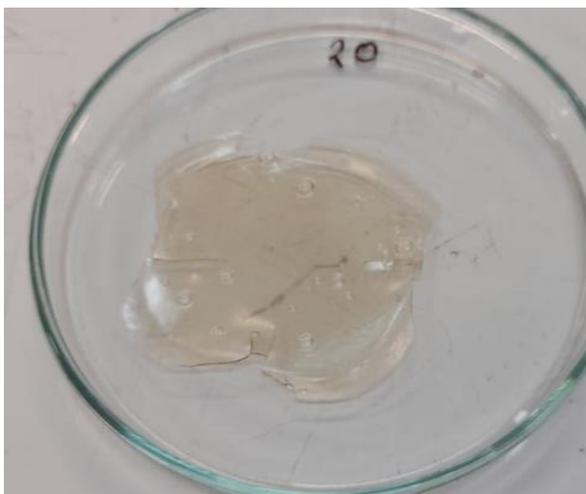


Figura 68: Dosificación Muestra #22



Figura 67: Dosificación Muestra #21

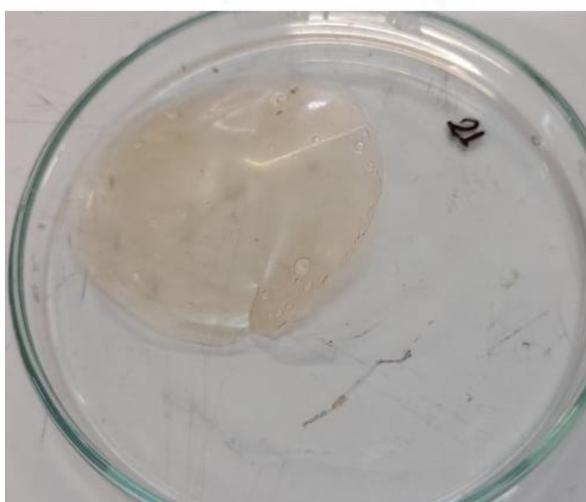


Figura 69: Dosificación Muestra #23

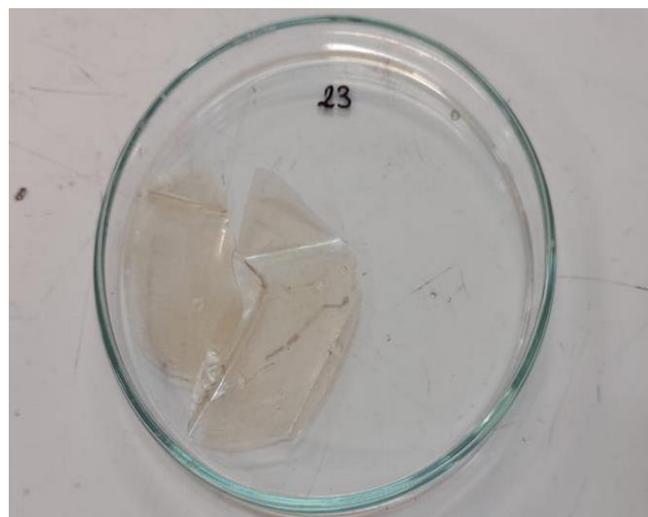


Figura 70: Dosificación Muestra #24



Figura 72: Dosificación Muestra #26

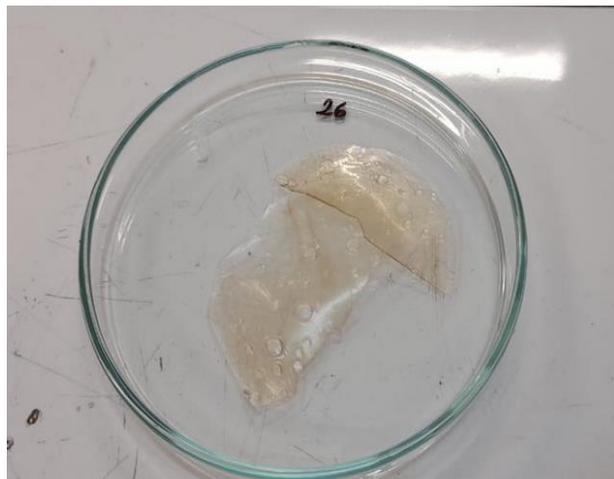


Figura 71: Dosificación Muestra #25



Figura 73: Dosificación Muestra #27

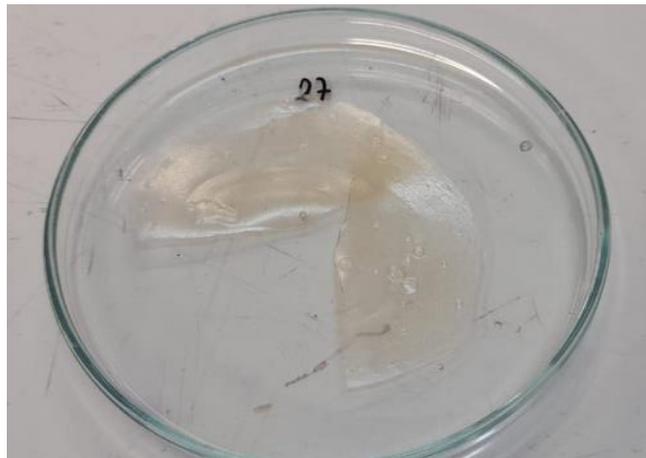


Figura 74: Dosificación Muestra #28



Figura 76: Dosificación Muestra #30



Figura 75: Dosificación Muestra #29



Figura 77: Dosificación Muestra #31



Figura 78: Dosificación Muestra #32



Figura 80: Dosificación Muestra #34

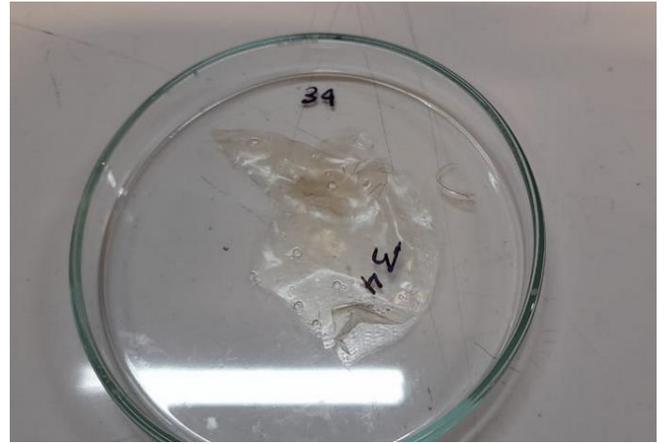


Figura 79: Dosificación Muestra #33

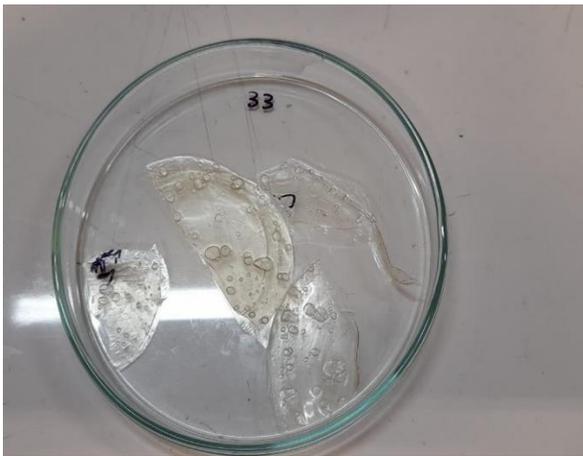


Figura 81: Dosificación Muestra #35

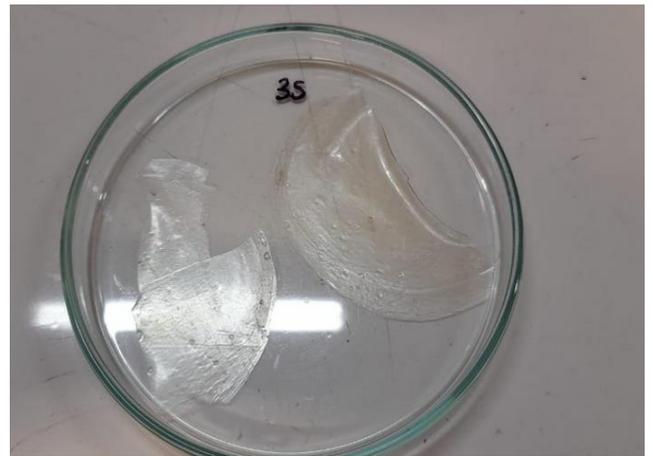


Figura 82: Dosificación Muestra #36



Figura 84: Dosificación Muestra #38

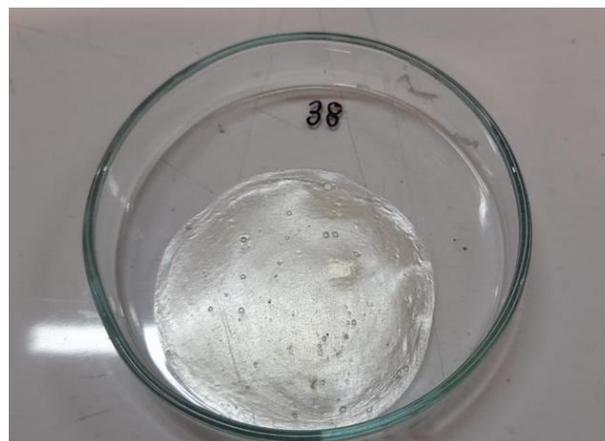


Figura 83: Dosificación Muestra #37



Figura 85: Dosificación Muestra #39



Figura 86: Dosificación Muestra #40

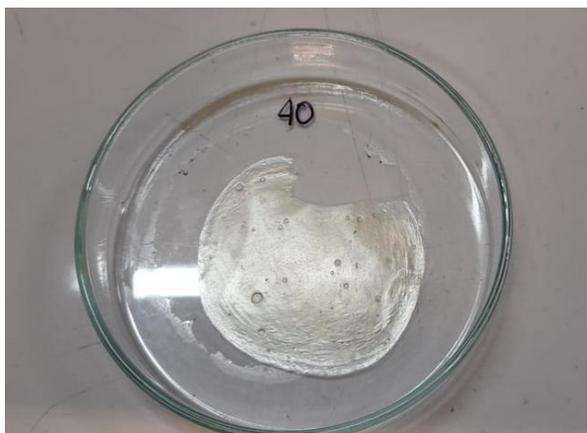


Figura 88: Dosificación Muestra #42



Figura 87: Dosificación Muestra #41



Figura 89: Dosificación Muestra #43

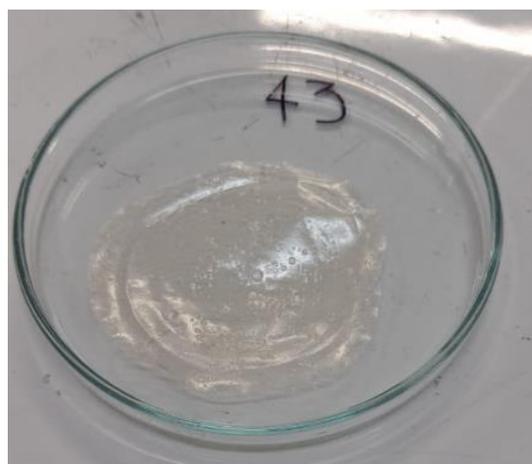


Figura 90: Dosificación Muestra #44

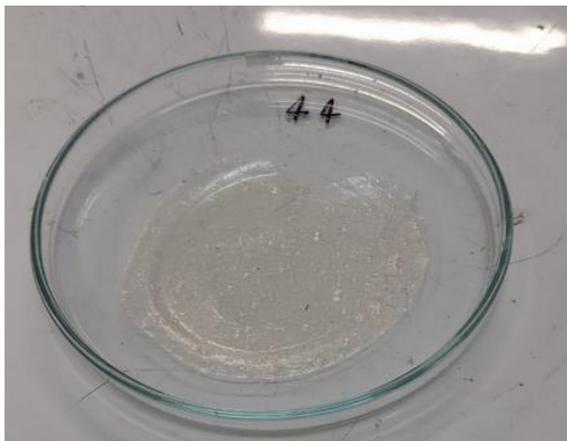


Figura 92: Dosificación Muestra #46



Figura 91: Dosificación Muestra #45

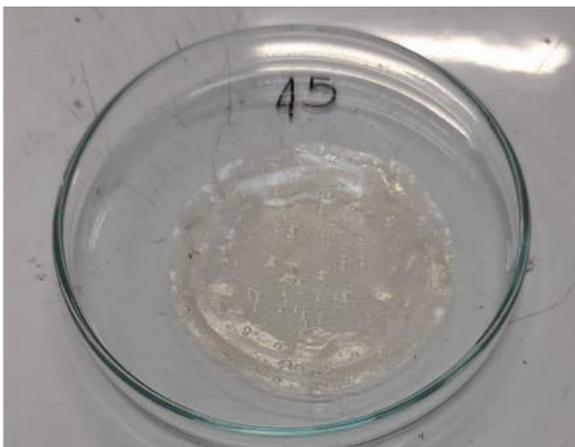


Figura 93: Dosificación Muestra #47



Figura 94: Dosificación Muestra #48

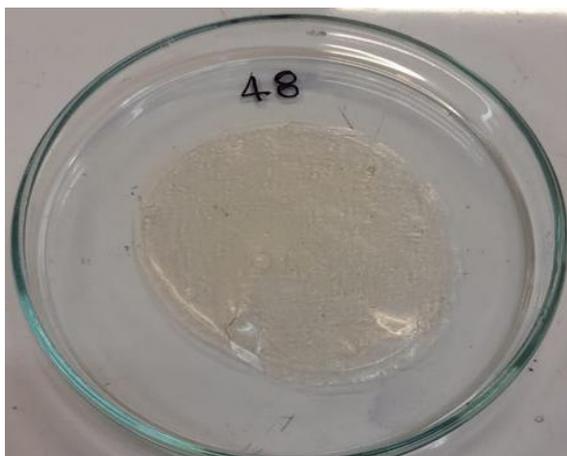


Figura 96: Dosificación Muestra #50

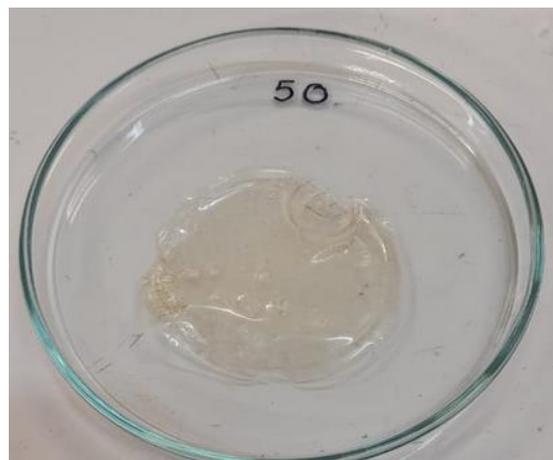


Figura 95: Dosificación Muestra #49

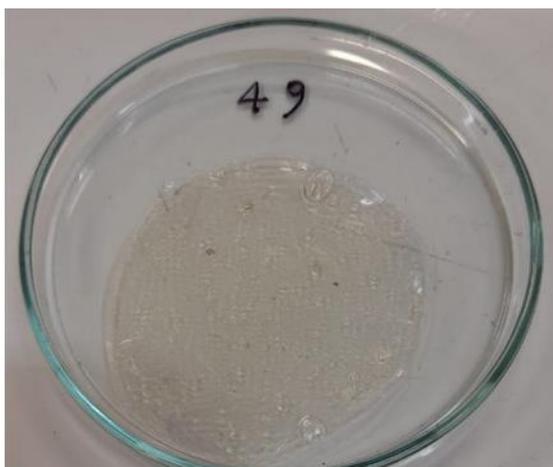


Figura 97: Dosificación Muestra #51

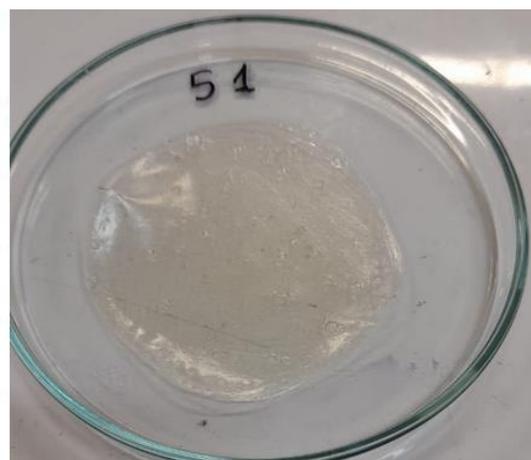


Figura 98: Dosificación Muestra #52

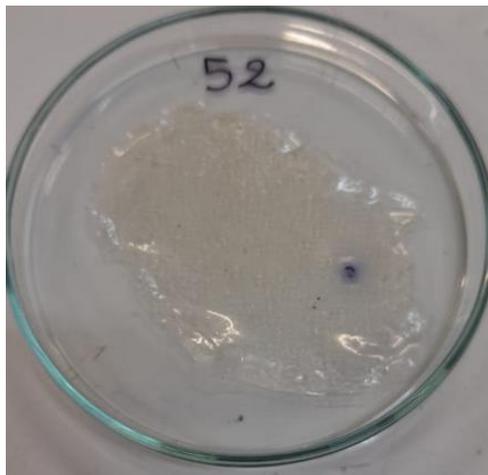
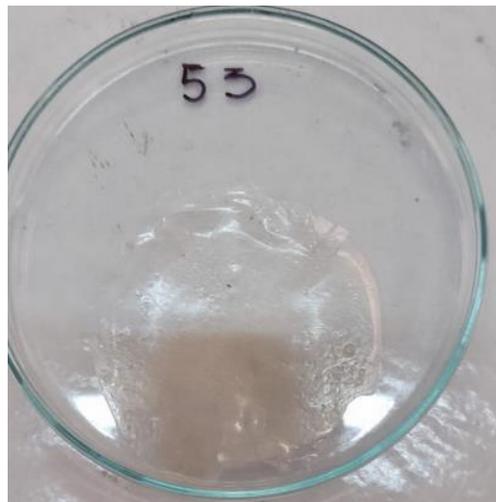


Figura 99: Dosificación Muestra #53



10.2 Apéndice B. Evaluación de biodegradabilidad

Tabla 42. Carbono orgánico

Ft	0,05		1000	c=m/v	c=d*v
	177,044	177,04	0,17704		0,008852
Carbono	ppm	mg/l	g/l		g de carbono

Realizado por: Autores

Tabla 43. Parámetros

Parámetros			
NKOH	Normalidad	1	N
KOH			
Mtotal	Peso total muestra	9,2	gr
Ctot	Peso CARBONO	0,008852	gr
Nhcl	Normalidad HCl	0,25	N

Tomado de: Autores

Tabla 44. Variables para la evaluación de biodegradabilidad.

gr de	0,008852	gr
Carbono		
en base a		
moles		

% de C oxidado	0,89	%
Factor de corrección	1,3	
% de C total en muestra	1,15	%
F M O	1,742	
%Materia Orgánica	1,54	%

Tomado de: Autores

Tabla 45. Prueba de biodegradabilidad

	Fecha	KOH(ml) p1	HCl(ml)p1	KOH(ml) blanco	HCl(ml) blanco	G. CO2 (p1)	G. CO2 (blanco)	PH	% CO2 producido	CO2 teórico (gr con muestra de	%Biodegradación	biopolímero	%	BIODEGRADACION ACUMULADO
1	17/11/2020	2	2,5	2	1,6	0,053 9	0,035 2	7,3	5,39	0,2986	6,2624	6,262		
2	18/11/2020	2	2,5	2	1,6	0,055	0,035 2	8,0	5,5	0,2986	6,6308	12,893		
3	19/11/2020	2	2,3	2	1,6	0,050 6	0,034 1	7,4	5,06	0,2986	5,5256	18,419		
4	20/11/2020	2	2,4	2	1,5	0,052 8	0,033	6,9	5,28	0,2986	6,6308	25,050		
5	21/11/2020	2	2,3	2	1,4	0,050 6	0,030 8	7,2	5,06	0,2986	6,6308	31,680		

6	23/11/2020	2	2,3	2	1,6	0,050 6	0,035 2	7,8	5,06	0,2986	5,1573	36,84
7	24/11/2020	2	2,5	2	1,5	0,055	0,033	8,1	5,5	0,2986	7,3675	44,205
8	25/11/2020	2	2,4	2	1,7	0,052 8	0,037 4	7,4	5,28	0,2986	5,1573	49,362
9	26/11/2020	2	1,8	2	1,3	0,039 6	0,028 6	6,6	3,96	0,2986	3,6838	53,046
10	27/11/2020	2	1,8	2	1,4	0,039 6	0,030 8	8,1	3,96	0,2986	2,9470	55,993
11	28/11/2020	2	1,8	2	1,3	0,039 6	0,028 6	7,2	3,96	0,2986	3,6838	59,677
12	30/11/2020	2	1,6	2	1,1	0,035 2	0,024 2	7,3	3,52	0,2986	3,6838	63,361
13	1/12/2020	2	1,8	2	1,2	0,039 6	0,026 4	8,4	3,96	0,2986	4,4205	67,781

14	2/12/2020	2	1,6	2	0,9	0,035 2	0,019 8	7,5	3,52	0,2986	5,1573	72,939
15	3/12/2020	2	1,5	2	1,1	0,033	0,024 2	7,1	3,3	0,2986	2,9470	75,886
16	4/12/2020	2	1,4	2	0,9	0,030 8	0,019 8	6,9	3,08	0,2986	3,6838	79,569
17	5/12/2020	2	1,4	2	0,9	0,030 8	0,019 8	8,1	3,08	0,2986	3,6838	83,253
18	7/12/2020	2	0,9	2	0,7	0,019 8	0,015 4	7,9	1,98	0,2986	1,4735	84,727
											84,727	

Tomado de: Autores

10.3 Apéndice C

RESULTADOS ORDEN DE TRABAJO

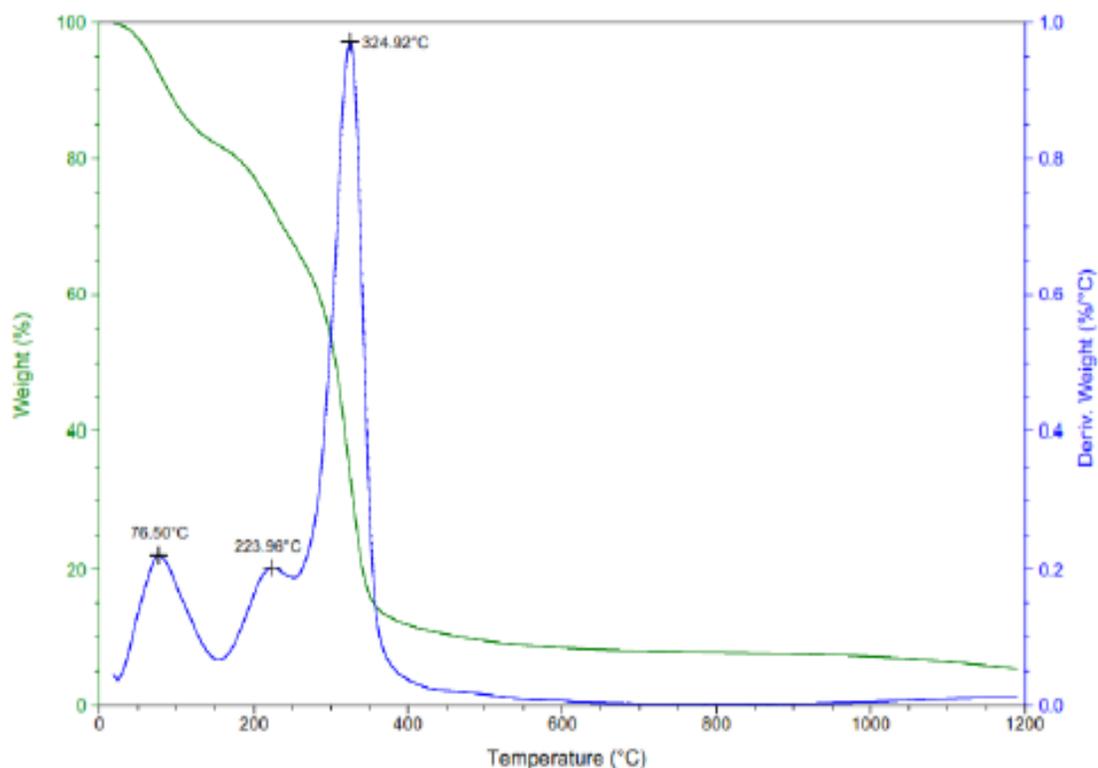
OT-2329-20

Hoja: 1 de 1

Fecha de emisión: 04/01/2021

ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

Norma de ensayo: ISO 11357-3
Producto / Material: Bioplástico a base dealmidón de cáscara de yuca con adición de agentes plastificantes
Equipo utilizado: Analizador Térmico SDT Q600, EM-004
Información del ensayo: Velocidad de calentamiento: 10 °C/min
 Velocidad de flujo: 100 mL/min
 Gas: Nitrógeno
 Crisol: Alúmina



Gráfica 1. Análisis Térmico. Muestra 20-5796

Observaciones:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Tabla 46. Masa del polímero

Masa	13,333	gr.
inicial del biopolimero		

Tomado de: Autores

Tabla 47. Perdida porcentual

Masa final			
5,3	%	0,706649	gr

Perdida porcentual de masa

94,70	%	12,626351	gr
--------------	----------	------------------	-----------

Tomado de: Autores

Tabla 48. Temperatura de cambio de peso del polímero

Temperatura de cambio de peso del biopolímero						
Pérdida A	76,5	°C	93,3	%	12,44	gr
Pérdida B	223,96	° C	74,1	%	9,88	gr
Pérdida C	324,92	°C	29,2	%	3,89	gr
Pérdida D	800	°C	8,5	%	1,13	gr
Pérdida E	1100	°C	5,3	%	0,71	gr

Tomado de: Autores

12.4 Apéndice D

Tabla 49. Variables determinantes para el cálculo de PE

Costo fijo	2345,34
Precio de venta unitario	6,2
Costo variable unitario	5,61
X	3975
Costo variable total	22300,6058
Ingreso total	24645,95

Tomado de: Autores

Tabla 50. Costos e ingresos

Unidades	Costo fijo	Costo variable total	Costo total	Ingreso total
0	23,45	0,00	23,45	0
10	23,45	56,10	79,55	62
20	23,45	112,20	135,65	124
30	23,45	168,30	191,75	186
40	23,45	224,40	247,85	248
50	23,45	280,50	303,95	310
60	23,45	336,60	360,05	372
70	23,45	392,70	416,15	434
80	23,45	448,80	472,25	496
90	23,45	504,90	528,35	558
100	23,45	561,00	584,45	620

110	23,45	617,10	640,55	682
120	23,45	673,20	696,65	744
130	23,45	729,30	752,75	806
140	23,45	785,40	808,85	868
150	23,45	841,50	864,95	930
160	23,45	897,60	921,05	992
170	23,45	953,70	977,15	1054
180	23,45	1009,80	1033,25	1116
190	23,45	1065,90	1089,35	1178
200	23,45	1122,00	1145,45	1240
210	23,45	1178,10	1201,55	1302
220	23,45	1234,20	1257,65	1364
230	23,45	1290,30	1313,75	1426
240	23,45	1346,40	1369,85	1488
250	23,45	1402,50	1425,95	1550
260	23,45	1458,60	1482,05	1612
270	23,45	1514,70	1538,15	1674
280	23,45	1570,80	1594,25	1736
290	23,45	1626,90	1650,35	1798
300	23,45	1683,00	1706,45	1860
310	23,45	1739,10	1762,55	1922
320	23,45	1795,20	1818,65	1984
330	23,45	1851,30	1874,75	2046

340	23,45	1907,40	1930,85	2108
350	23,45	1963,50	1986,95	2170
360	23,45	2019,60	2043,05	2232
370	23,45	2075,70	2099,15	2294
380	23,45	2131,80	2155,25	2356
390	23,45	2187,90	2211,35	2418
400	23,45	2244,00	2267,45	2480
410	23,45	2300,10	2323,55	2542
420	23,45	2356,20	2379,65	2604
430	23,45	2412,30	2435,75	2666
440	23,45	2468,40	2491,85	2728
450	23,45	2524,50	2547,95	2790
460	23,45	2580,60	2604,05	2852
470	23,45	2636,70	2660,15	2914
480	23,45	2692,80	2716,25	2976
490	23,45	2748,90	2772,35	3038
500	23,45	2805,00	2828,45	3100
510	23,45	2861,10	2884,55	3162
520	23,45	2917,20	2940,65	3224
530	23,45	2973,30	2996,75	3286
540	23,45	3029,40	3052,85	3348
550	23,45	3085,50	3108,95	3410
560	23,45	3141,60	3165,05	3472

570	23,45	3197,70	3221,15	3534
580	23,45	3253,80	3277,25	3596
590	23,45	3309,90	3333,35	3658
600	23,45	3366,00	3389,45	3720
610	23,45	3422,10	3445,55	3782
620	23,45	3478,20	3501,65	3844
630	23,45	3534,30	3557,75	3906
640	23,45	3590,40	3613,85	3968
650	23,45	3646,50	3669,95	4030
660	23,45	3702,60	3726,05	4092
670	23,45	3758,70	3782,15	4154
680	23,45	3814,80	3838,25	4216
690	23,45	3870,90	3894,35	4278
700	23,45	3927,00	3950,45	4340
710	23,45	3983,10	4006,55	4402
720	23,45	4039,20	4062,65	4464
730	23,45	4095,30	4118,75	4526
740	23,45	4151,40	4174,85	4588
750	23,45	4207,50	4230,95	4650
760	23,45	4263,60	4287,05	4712
770	23,45	4319,70	4343,15	4774
780	23,45	4375,80	4399,25	4836
790	23,45	4431,90	4455,35	4898

800	23,45	4488,00	4511,45	4960
810	23,45	4544,10	4567,55	5022
820	23,45	4600,20	4623,65	5084
830	23,45	4656,30	4679,75	5146
840	23,45	4712,40	4735,85	5208
850	23,45	4768,50	4791,95	5270
860	23,45	4824,60	4848,05	5332
870	23,45	4880,70	4904,15	5394
880	23,45	4936,80	4960,25	5456
890	23,45	4992,90	5016,35	5518
900	23,45	5049,00	5072,45	5580
910	23,45	5105,10	5128,55	5642
920	23,45	5161,20	5184,65	5704
930	23,45	5217,30	5240,75	5766
940	23,45	5273,40	5296,85	5828
950	23,45	5329,50	5352,95	5890
960	23,45	5385,60	5409,05	5952
970	23,45	5441,70	5465,15	6014
980	23,45	5497,80	5521,25	6076
990	23,45	5553,90	5577,35	6138
1000	23,45	5610,00	5633,45	6200

Tomado de: Autores

Tabla 51. Flujo de caja Año 1

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Ingresos de caja	620,0 0	1240,0 0	1860,0 0	2480,0 0	3100,0 0	3720,0 0	4340,0 0	4960,0 0	5580,00	6200,0 0	6820,00	7440,00
Ventas	620,0 0	1240,0 0	1860,0 0	2480,0 0	3100,0 0	3720,0 0	4340,0 0	4960,0 0	5580,00	6200,0 0	6820,00	7440,00
Cantidad	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Precio	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Aportes de capital	0											
Egresos de caja	584,4 5	1145,4 5	1706,4 5	2267,4 5	2828,4 5	3389,4 5	3950,4 5	4511,4 5	5072,45	5633,4 5	6194,45	6755,45
Compras	561,0 0	1122,0 0	1683,0 0	2244,0 0	2805,0 0	3366,0 0	3927,0 0	4488,0 0	5049,00	5610,0 0	6171,00	6732,00
Cantidad	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Precio	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61
Costos fijo	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45
Flujo de mes	35,55	94,55	153,55	212,55	271,55	330,55	389,55	448,55	507,55	566,55	625,55	684,55
Flujo acumulado	35,55	130,10	283,65	496,20	767,75	1098,3 0	1487,8 5	1936,4 0	2443,95	3010,5 0	3636,05	4320,60

Egresos de caja	14048,45	14609,45	15170,45	15731,45	16292,45	16853,45	17414,45	17975,45	18536,45	19097,45	19658,45	20219,45
Compras	14025,00	14586,00	15147,00	15708,00	16269,00	16830,00	17391,00	17952,00	18513,00	19074,00	19635,00	20196,00
Cantidad	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600
Precio	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61
Costos fijo	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45
Flujo de mes	1468,61	1528,29	1587,97	1647,66	1707,34	1767,02	1826,70	1886,38	1946,07	2005,75	2065,43	2125,11
Flujo acumulado	1468,61	2996,90	4584,87	6232,53	7939,87	9706,89	11533,59	13419,97	15366,04	17371,79	19437,22	21562,34

Realizado por: Autores

Tabla 54. Flujo Año 4

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
--------------	----------------	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------------	----------------	------------------	------------------

Ingresos de caja	22965,25	23585,93	24206,61	24827,29	25447,98	26068,66	26689,34	27310,02	27930,71	28551,39	29172,07	29792,75
Ventas	22965,25	23585,93	24206,61	24827,29	25447,98	26068,66	26689,34	27310,02	27930,71	28551,39	29172,07	29792,75
Cantidad	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800
Precio	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21
Aportes de capital												
Egresos de caja	20817,45	21379,45	21941,45	22503,45	23065,45	23627,45	24189,45	24751,45	25313,45	25875,45	26437,45	26999,45
Compras	20794,00	21356,00	21918,00	22480,00	23042,00	23604,00	24166,00	24728,00	25290,00	25852,00	26414,00	26976,00
Cantidad	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800
Precio	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62
Costos fijo	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45
Flujo de mes	2147,80	2206,48	2265,16	2323,84	2382,53	2441,21	2499,89	2558,57	2617,26	2675,94	2734,62	2793,30
Flujo acumulado	2147,80	4354,28	6619,44	8943,28	11325,81	13767,01	16266,91	18825,48	21442,73	24118,67	26853,29	29646,59

Aportes de capital												
Egresos de caja	34305,45	34867,45	35429,45	35991,45	36553,45	37115,45	37677,45	38239,45	38801,45	39363,45	39925,45	40487,45
Compras	34282,00	34844,00	35406,00	35968,00	36530,00	37092,00	37654,00	38216,00	38778,00	39340,00	39902,00	40464,00
Cantidad	6100,00	6200,00	6300,00	6400,00	6500,00	6600,00	6700,00	6800,00	6900,00	7000,00	7100,00	7200,00
Precio	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62
Costos fijo	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45	23,45
Flujo de mes	3556,17	3614,86	3673,54	3732,22	3790,90	3849,58	3908,27	3966,95	4025,63	4084,31	4143,00	4201,68
Flujo acumulado	3556,17	7171,03	10844,57	14576,79	18367,69	22217,27	26125,54	30092,49	34118,12	38202,43	42345,43	46547,11

Realizado por: Autores