



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

OBTENCIÓN DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DE RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea mays*
L.) PARA LA ELABORACIÓN DE FILMS

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera/o Ambiental

AUTORES: YESSANIA JEANNETH ANGAMARCA YAGUANA
LUIS ALFREDO DELGADO VALLADARES

TUTOR: ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, PhD.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Yessenia Jeanneth Angamarca Yaguana con documento de identificación N° 0705758597 y Luis Alfredo Delgado Valladares con documento de identificación N° 0150487411; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 04 de mayo del 2022

Atentamente,

Yessenia Jeanneth Angamarca Yaguana

0705758597

Luis Alfredo Delgado Valladares

0150487411

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Yessenia Jeanneth Angamarca Yaguana con documento de identificación N° 0705758597 y Luis Alfredo Delgado Valladares con documento de identificación N° 0150487411, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Obtención de biopolímeros a partir de residuos de maíz (*Zea mays L.*) para la elaboración de films”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera/o Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de mayo del 2022

Atentamente,

Yessenia Jeanneth Angamarca Yaguana

0705758597

Luis Alfredo Delgado Valladares

0150487411

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Braulio Amaya Pinos con documento de identificación N° 0103444923, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: OBTENCIÓN DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DE RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea mays L.*) PARA LA ELABORACIÓN DE FILMS, realizado por Yessenia Jeanneth Angamarca Yaguana con documento de identificación N° 0705758597 y por Luis Alfredo Delgado Valladares con documento de identificación N° 0150487411, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de mayo del 2022

Atentamente,



Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, PhD.
0103444923

DEDICATORIA

La presente investigación la dedico a Dios por brindarles vida y salud a mis padres Vinicio y Vilma que gracias a su apoyo incondicional que supieron darme a lo largo de mi vida académica, mis padres que son lo más importante para mí, me guiaron por un buen camino con sus consejos y palabras de motivación día a día para no rendirme en los momentos difíciles y el cual gracias a ellos cumplí una meta más en mi vida, todo lo que soy es gracias a mis padres.

A mis familiares que me brindaron su apoyo y compartieron momentos durante mi formación académica.

Finalmente, a mi compañero de investigación Luis que es una buena persona, que gracias al esfuerzo y dedicación logramos culminar esta etapa.

Yessenia Jeanneth Angamarca Yaguana

La presente investigación principalmente, es por y para mis padres María y Alberto, quienes han sido el pilar fundamental a lo largo de toda mi vida, es por su apoyo incondicional, por sus consejos, por sus enseñanzas y sus oraciones que he salido adelante, es para ustedes que son mi orgullo e inspiración y por quienes trabajé con todo el amor para culminar mi formación universitaria.

Para todos mis familiares que han estado en todo momento con su apoyo incondicional y pendientes en el día a día de mis estudios.

Para ustedes que siempre me brindaron su apoyo, y han sido esenciales en este camino, porque sé, que sin ustedes la “U” no sería tan genial como lo fue al coincidir juntos, gracias por

todo: Andrea, Deysi, Mariela, Evelyn, Nube, Erícka, Esteban, Fabian, Kathy...

Para Yessenia, una gran amiga y compañera en esta investigación, que gracias a su apoyo y esfuerzo logramos cumplir nuestro objetivo.

Y de manera especial para ti, Kari, que siempre has estado apoyándome y me ayudaste a nunca rendirme, eres mi inspiración.

Luis Alfredo Delgado Valladares

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecemos a Dios por concedernos salud y sabiduría para culminar la presente investigación.

De la misma manera agradecemos infinitamente a nuestros padres por saber apoyarnos en nuestro ciclo académico, para lograr nuestros propósitos y metas en la vida.

A la Universidad Politécnica Salesiana por abrirnos las puertas para nuestra formación profesional y humana. A los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Ambiental por brindarnos sus conocimientos y de manera especial a nuestro tutor Doctor Jorge Amaya por su tiempo, paciencia y saber guiarnos en la investigación.

Finalmente, a las personas que estuvieron prestas en ayudarnos en todas etapas de la investigación.

Los Autores

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad obtener un biopolímero a partir de residuos de maíz (*Zea mays L.*) para la fabricación de films. Para lograr dicho objetivo, primeramente, se aisló celulosa del rastrojo de maíz mediante hidrólisis básica y ácida y un blanquimiento final a la fibra, se emplearon tres métodos de aislamiento los cuales se evaluaron en base al rendimiento de celulosa obtenida. Luego se prepararon biopelículas mediante el método de colada en solución, se ensayaron diferentes dosificaciones hasta obtener la formulación óptima que contenía celulosa, alcohol polivinílico y agua en una relación 1:2:50. Una vez obtenido el biopolímero se realizaron pruebas físicas y químicas. Adicionalmente se realizó un estudio de la sustentabilidad y producción de una empresa de fabricación de films. Los resultados de la investigación demostraron que el rastrojo de maíz está compuesto por $42.57 \pm 1.12\%$ celulosa; $7.15 \pm 0.81\%$ lignina y $50.28 \pm 1.31\%$ hemicelulosa más otros componentes. También se determinó que es posible lograr un rendimiento de $31.20 \pm 2.46\%$ de celulosa. Por otro lado, el biopolímero obtenido, mostró buenas características fisicoquímicas y termomecánicas, y una biodegradación aproximadamente a los 40 días. Además, mediante el VAN y TIR se determinó una rentabilidad positiva de una empresa destinada a la producción del biopolímero estudiado. Finalmente se concluye que el biopolímero obtenido partir de residuos de maíz, tiene características muy prometedoras para el desarrollo de films. Sin embargo, es necesario optimizar los procesos de aislamiento de celulosa y elaboración del film para obtener un producto con características más óptimas que cubran las necesidades demandadas actualmente.

Palabras claves: celulosa, biopolímero, rastrojo de maíz, residuos agrícolas, films.

ABSTRACT

The purpose of this research is to obtain a biopolymer from corn (*Zea mays* L.) residues for the manufacture of films. To achieve this objective, first, cellulose was isolated from corn stover by basic and acid hydrolysis and a final bleaching of the fiber; three isolation methods were used, which were evaluated based on the yield of cellulose obtained. Then biofilms were prepared by the solution casting method, different dosages were tested until the optimum formulation containing cellulose, polyvinyl alcohol and water in a 1:2:50 ratio was obtained. Once the biopolymer was obtained, physical and chemical tests were carried out. Additionally, a study of the sustainability and production of a film manufacturing company was carried out. The results of the research showed that corn stover is composed of $42.57 \pm 1.12\%$ cellulose; $7.15 \pm 0.81\%$ lignin and $50.28 \pm 1.31\%$ hemicellulose plus other components. It was also determined that a yield of $31.20 \pm 2.46\%$ cellulose is achievable. On the other hand, the biopolymer obtained, showed good physicochemical and thermo-mechanical characteristics, and a biodegradation at approximately 40 days. In addition, by means of NPV and IRR, a positive profitability of a company destined to the production of the biopolymer studied was determined. Finally, it is concluded that the biopolymer obtained from corn residues has very promising characteristics for the development of films. However, it is necessary to optimize the processes of cellulose isolation and film elaboration to obtain a product with more optimal characteristics that meet the needs currently demanded.

Keywords: *cellulose, biopolymer, corn stover, agricultural residues, films.*

Índice general

1. Introducción	17
1.1. Problema	17
1.2. Justificación	19
1.3. Delimitación	21
1.4. Explicación del problema	21
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. Objetivo general.....	22
1.5.2. Objetivos específicos	22
2. Fundamentación teórica.....	22
2.1. Los polímeros	22
2.1.1. Historia de los polímeros	23
2.1.2. Tipos de polímeros	23
2.2. Biopolímeros	24
2.2.1. Clasificación de los biopolímeros.....	25
2.2.2. Biopolímeros a partir de residuos agrícolas.....	26
2.3. Biomasa lignocelulósica	27
2.3.1. Celulosa	28
2.3.2. Hemicelulosa	29
2.3.3. Lignina	30

2.4. Almidón	30
2.5. Maíz	31
2.5.1. Rastrojo de maíz	32
3. Materiales y Métodos	34
3.1. Primera Etapa	34
3.1.1. Obtención de la materia prima.....	34
3.1.2. Pretratamiento de materia prima.....	34
3.1.3. Secado de rastrojo.....	35
3.1.4. Molienda del rastrojo	35
3.1.5. Hidrólisis alcalina	35
3.1.6. Hidrólisis acida	36
3.1.7. Blanquimiento.....	37
3.1.8. Método de aislamiento con agua corriente	38
3.1.9. Determinación de los componentes de la fibra del rastrojo de maíz	38
3.1.10. Análisis estadístico	39
3.2. Segunda etapa	39
3.2.1. Dosificación optima del biopolímero	39
3.2.1.1. Componentes	40
3.2.1.2. Preparación de biopelículas	41

3.2.2. Métodos de Caracterización.....	42
3.2.2.1. Análisis FTIR.....	42
3.2.2.2. Análisis térmico	42
3.2.2.3. Análisis de propiedades mecánicas.....	43
3.2.2.4. Estudio de biodegradación.....	43
3.3. Tercera etapa.....	44
3.3.1. Estudio de producción	44
3.3.2. Disponibilidad de materia prima.....	44
3.3.3. Análisis económico.....	45
3.3.3.1. Valor Actual Neto (VAN).....	45
3.3.3.2. Tasa interna de retorno (TIR)	46
4. Discusión y Resultados.....	47
4.1. Determinación de componentes.....	47
4.2. Rendimiento.....	49
4.3. Caracterización de polímeros	51
4.3.1. Análisis FTIR.....	51
4.3.2. Análisis térmico	53
4.3.3. Análisis TGA	53
4.3.4. Análisis DSC.....	57

4.3.5. Análisis de propiedades mecánicas.....	59
4.4. Estudio de biodegradación.....	62
4.5. Estudio de producción	65
4.5.1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la celulosa.....	65
4.5.2. Disponibilidad de materia prima.....	68
4.6. Estudio económico	¡Error! Marcador no definido.
4.6.1. Costos de producción.....	69
4.6.2. Gastos.....	72
4.6.3. Flujo de caja.....	74
4.6.4. Cálculo del VAN	75
4.6.5. Calculo de la Tasa Interna de Retorno.....	76
4.6.6. Análisis	76
5. Conclusiones y Recomendaciones	78
6. Referencias	79
7. Apéndice.....	99

Índice de tablas

Tabla 1. Dosificaciones.	40
Tabla 2. Componentes de la fibra de rastrojo de maíz.	48
Tabla 3. Comparaciones múltiples entre cada ensayo mediante ANOVA.....	49
Tabla 4. Rendimiento de aislamiento de celulosa	50
Tabla 5. Propiedades mecánicas de diferentes compuestos biodegradables.	60
Tabla 6. Datos de dureza de las tres muestras del film.	62
Tabla 7. Biodegradación del biopolímero.	63
Tabla 8. Producción de rastrojo de maíz.	69
Tabla 9. Costos directos a la producción.....	70
Tabla 10. Costos Indirectos a la producción.	70
Tabla 11. Costos indirectos de fabricación.	71
Tabla 12. Mano de obra Directa.	71
Tabla 13. Inversión de maquinaria.	72
Tabla 14. Gastos administrativos.	73
Tabla 15. Datos del crédito financiero.	74
Tabla 16. Estimación del precio de venta y margen de ganancia para 100 kg.....	74
Tabla 17. Egresos totales para la producción mensual de la planta.	74
Tabla 18. Ingresos totales.	75
Tabla 19. Estimación de flujo de caja.	75
Tabla 20. Precio de venta del biopolímero.....	76
Tabla 21. Precio del polímero común.	77

Tabla 22. Precio de otros biopolímeros.....	77
--	----

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación de los biopolímeros.....	26
Figura 2. Representación gráfica de la LCB (a) estructura a escala celular y (b) escala macromolecular y composición.. ..	28
Figura 3. Estructura química de la celulosa.. ..	29
Figura 4. Representación esquemática de amilosa (a) y amilopectina (b).....	31
Figura 5. Partes de la planta de maíz.....	32
Figure 6. Rastrojo de maíz.. ..	33
Figura 7. Obtención del rastrojo de maíz.. ..	34
Figura 8. Secado de rastrojo de maíz.. ..	35
Figura 9. Molienda del rastrojo de maíz.. ..	35
Figura 10. Hidrólisis básica.....	36
Figura 11. Hidrólisis ácida.. ..	37
Figura 12. Blanqueamiento de la celulosa.. ..	37
Figura 13. Determinación de componentes del rastrojo de maíz, Dosi Fiber J.P-Selecta.. ..	39
Figura 14. Método de muestreo de parcela 4x4.. ..	45
Figura 15. Determinación de almidón en el rastrojo de maíz.. ..	49
Figura 16. Celulosa con diferente tipo de agua y biopolímero granulado.	51
Figure 17. Análisis FTIR de la celulosa con agua destilada.. ..	53
Figura 18. Análisis FTIR de la celulosa con agua corriente.. ..	53

Figura 19. Análisis Termogravimétrico de la celulosa..	55
Figura 20. Análisis Termogravimétrico del biopolímero.....	57
Figura 21. Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido de la celulosa..	58
Figure 22. Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido del biopolímero.	59
Figure 23. Ensayo de tracción al biopolímero.....	61
Figura 24. Grafica de prueba mecánica de tracción al biopolímero..	62
Figura 25. Muestras para el análisis de biodegradación del biopolímero..	63
Figura 26. Biodegradación del biopolímero.....	64
Figura 27. Biodegradación del biopolímero.....	64
Figura 28. Diagrama de flujo para la obtención de la celulosa..	65
Figura 29. Diagrama de flujo del proceso productivo del biopolímero..	67
Figure 30. Mapa de delimitación del área de obtención de la materia prima.....	69

CAPÍTULO I

1. Introducción

Los plásticos se han vuelto cada vez más dominantes en el mercado de consumo, desde su desarrollo comercial en las décadas de 1930 y 1940 (Jambeck et al., 2015) hasta la actualidad donde se han convertido en materiales indispensables para la vida diaria, sustituyendo a otros como el vidrio, la cerámica, la madera y a ciertos metales, principalmente debido a sus ventajas de bajo costo, maleabilidad y durabilidad (Verla et al., 2019).

Mirar a nuestro alrededor es suficiente para comprender que estamos inmersos en un mundo repleto de materiales plásticos. Su aplicación en varios usos está evolucionando día a día, por lo que, es muy importante conocer bien estos materiales, no solo por los beneficios que brindan, sino también por las desventajas que provocan, principalmente por el impacto ambiental provocado en su etapa de posconsumo (Calvillo Cerda, 2011, p. 11). Hoy en día la contaminación plástica es un hecho y una salida para minimizar esta problemática son los “biopolímeros” que pueden aportar beneficios iguales o mejores que los plásticos convencionales. Así, por ejemplo, se usan en aplicaciones industriales y cotidianas, siendo materia prima de recipientes y utensilios de toda gama, y/o también formando parte de aparatos tecnológicos e industriales (Matthews et al., 2021).

De acuerdo a lo anterior, la presente investigación pretende, obtener un biopolímero a partir de residuos agrícolas, específicamente de rastrojo de maíz, material considerado como un desecho agrícola de un alto potencial de aprovechamiento y gran disponibilidad en Ecuador (Bernhardt et al., 2019), del cual se puede extraer celulosa para la creación de nuevos biomateriales (Costa et al., 2015; Singh et al., 2020) y de esta manera ofrecer una alternativa frente la contaminación plástica.

1.1. Problema

La producción mundial de plásticos aumentó de 1,7 millones de toneladas métricas (TM) en 1950 (Wirnkor et al., 2019) a 368 millones de TM en 2019 (Statista, 2021) y se proyecta que alcance 25 mil millones de TM en 2050 (Geyer et al., 2017). Por otro lado, se calculó que la generación de residuos plásticos entre 1950 y 2015 fue de 6300 millones de TM, de las cuales aproximadamente el 9% se reciclaron, el 12% se incineraron, y el 79% se depositaron en vertederos o se desalojaron directamente al medio ambiente (Rhodes, 2018). Además, se pronostica que el almacenamiento acumulado mundial de desechos plásticos gestionados inadecuadamente aumentará de 61 a 72 millones de TM en 1990 a 5109-5678 millones de TM para 2050 (Cordier et al., 2021).

Actualmente la contaminación ocasionada por la acumulación de desechos plásticos en los sistemas naturales es considerada un problema de preocupación mundial (Cordier y Uehara, 2019). Esta problemática de carácter ambiental es consecuencia de las actividades antropogénicas, tanto industriales y domésticas, que están asociadas al consumismo, y a la ineficiente gestión de residuos plásticos, que van desde los procesos de producción hasta el final de su vida útil (Jaén et al., 2019; Soares et al., 2021). En esta perspectiva la contaminación plástica figura una amenaza creciente para los servicios ecosistémicos, la salud humana, la seguridad y los medios de vida sostenibles (Harris et al., 2021).

Se han encontrado plásticos en todas partes del mundo y los principales problemas ambientales ocasionados por estos incluyen: emisiones de gases de efecto invernadero emitidas en su producción (Zheng y Suh, 2019) y la acumulación de residuos plásticos en los ecosistemas naturales, tanto terrestres y marítimos, ocasionando contaminación y pérdida de la vida silvestre en todas partes del mundo (Narancic y O'Connor, 2017). Además, actualmente hay una

preocupación evidente por la acumulación de microplásticos en todos los entornos, pues se ha reportado su presencia en: los océanos (Pan et al., 2021), en la atmosfera (Purwiyanto et al., 2022), en suelos (Tian et al., 2021) y aguas continentales (Eibes y Gabel, 2021), y hasta en la nieve (Bergmann et al., 2019) y en la lluvia (Brahney et al., 2020), lo que puede representar riesgos para la biodiversidad (Li et al., 2021; Yin et al., 2021), para la seguridad alimentaria, y la salud humana causando trastornos como: toxicidad reproductiva, carcinogenicidad y mutagenicidad (Gasperi et al., 2018).

1.2. Justificación

A razón de la creciente contaminación plástica, el desarrollo de polímeros biodegradables es actualmente un campo muy activo en la investigación, generalmente por lograr el objetivo de crear nuevos materiales que reemplacen a los plásticos provenientes del petróleo con otros creados a base de fuentes renovables, para garantizar la preservación del medio ambiente y proporcionar un mejor nivel de vida a la sociedad (Narancic et al., 2020). Con base a lo anterior, la presente investigación se realiza con el motivo, de que, mediante los resultados obtenidos, brindar un aporte científico al conocimiento existente sobre la elaboración de biopolímeros termoplásticos creados a partir de biomasa de origen vegetal, donde se propone utilizar el rastrojo de maíz para la obtención de un biopolímero.

Por otro lado, conociendo que el Ecuador es un país netamente agrícola, y que cuenta con amplias fuentes de biomasa lignocelulósica, entre ellas residuos agrarios y agroindustriales, Riera et al. (2018) consideran que el país tiene un gran potencial en producción de materiales biobasados. De acuerdo al contexto anterior y haciendo referencia específicamente a los residuos de maíz (rastrojo), se considera este material como una “materia prima” con grandes perspectivas para su aprovechamiento, sobre todo por la cantidad de material disponible, que de acuerdo a Martillo et

al. (2020) calcularon una producción de 1,992 TM de rastrojo de maíz (hojas, tallo, flores, cascarilla) por cada TM de maíz seco cosechado, considerando este dato y la producción nacional de maíz que en 2019 fue 1'479.770 TM 2019 (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2020), se estima en Ecuador se producen aproximadamente 2'947.701,84 TM de rastrojo al año.

Sin embargo, a pesar de la gran generación de rastrojo en el país, hasta el momento su aprovechamiento ha sido nulo y generalmente su utilidad se limita a la alimentación de ganado (Calva, 2018) y/o a su incineración a cielo abierto, ya sea por prácticas agrícolas culturales (para abonar campos) o para lograr su rápida eliminación, debido a que el rastrojo ocupa un volumen amplio en los campos (López y Ortiz, 2018). Esta combustión, además se vuelve un problema ambiental pues se generan contaminantes peligrosos como dioxinas (Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA], 2014) y gases de efecto invernadero principales precursores del cambio climático (Andini et al., 2018; Jin et al., 2014).

Con base a lo anterior, el aprovechamiento del rastrojo de maíz, propuesto en la presente investigación, permitirá minimizar la contaminación producto de la combustión o mala disposición final del rastrojo de maíz. Además, se obtendrá otros beneficios ambientales, pues, al obtener un biopolímero se reducirá la contaminación plástica y se ofrecerá otra alternativa frente al uso de productos plásticos derivados del petróleo.

Por otra parte, la puesta en marcha del proyecto beneficiaría a los productores de maíz del lugar en donde se centra el proyecto, debido a que se les daría un valor agregado a los residuos agrícolas postcosechas ya que podrán vender el rastrojo como materia prima, obteniendo un beneficio económico.

Finalmente, cabe mencionar que en Ecuador está en vigencia leyes que regulan el uso del plástico como es el caso de la “Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción

de Plásticos de Un Solo Uso” que se publicó el 21 de diciembre de 2020, con el objeto de introducir cambios en la forma de consumo y producción del sector plástico del país. Dicha ley entre otras políticas en su artículo 3, tiene como objetivo “d) Fomentar el remplazo del uso de plásticos de un solo uso por envases y productos biodegradables”; además, en su artículo 20, menciona como prioridad del Estado el fomento a “los programas de investigación y proyectos sobre alternativas al uso de plásticos, la evaluación de alternativas con materiales que no afecten la soberanía alimentaria, y la producción de bioplásticos” (Asamblea Nacional, 2020). Por lo dicho el presente proyecto investigativo resulta muy beneficiado.

1.3. Delimitación

La obtención del biopolímero se realizó a nivel de laboratorio, específicamente en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana campus El Vecino, Cuenca-Ecuador.

En cuanto al análisis de disponibilidad de materia prima para el diseño productivo, se usó el rastrojo de maíz que está formado por el tallo, las hojas, flores y cobertura de las mazorcas (pucón). La investigación se limita a la producción de rastrojo de cinco sembríos localizados en el Carmen del Verdillo, comunidad perteneciente a la parroquia Sinincay del cantón Cuenca, Ecuador.

1.4. Explicación del problema

En el análisis del problema se ha detallado el eventual impacto de los plásticos en el medio ambiente resultando la no degradación de los plásticos el principal factor. Sin embargo, a pesar que la durabilidad de los plásticos por su no degradación se consideró originalmente una virtud, con el tiempo esta característica se volvió un problema ambiental y condujo a la investigación y el impulso a la creación de los primeros plásticos biodegradables (Philp et al., 2013).

En este contexto una alternativa comprometedora para minimizar la contaminación plástica son los biopolímeros, que son macromoléculas como almidón, celulosa, quitosano y proteínas de origen vegetal y animal, y que son materias primas renovables y altamente disponibles (Zhong et al., 2020). De acuerdo a lo expresado y conociendo la gran disponibilidad de rastrojo de maíz y su potencial aprovechamiento para la creación de materiales biobasados en este estudio se plantea la siguiente hipótesis:

“Se puede obtener un biopolímero termoplástico a partir de residuos (rastrojo) de maíz (*Zea mays L.*)”

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Obtener un biopolímero termoplástico a partir de residuos de maíz (*Zea mays L.*) para la elaboración de films.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio de la dosificación óptima para la obtención del biopolímero termoplástico.
- Evaluar las características fisicoquímicas de los biopolímeros obtenidos a partir de almidón y celulosa extraídos residuos de *Zea mays L.*
- Diseñar un prototipo con la materia prima obtenida y evaluar mediante pruebas termodinámicas.
- Estudiar el diseño y sustentabilidad de una empresa de producción del producto diseñado.

2. Fundamentación teórica

2.1. Los polímeros

Los polímeros son moléculas grandes, formadas por monómeros, unidos entre sí por enlaces covalentes y que están constituidos por átomos de carbono y pueden tener, además, radicales con uno varios átomos. Los polímeros son las moléculas que componen los plásticos y también los tejidos de los organismos vivos (Hermida, 2011, p. 14).

2.1.1. Historia de los polímeros

El primer plástico patentado fue la "Parkesina" creado por Alexander Parkes en 1862, y fue obtenido a partir de celulosa un material moldeable cuando se calienta y que se mantiene su forma cuando se enfría. Unos años más tarde John Wesley Hyatt inventó el "celuloide" un plástico que podía deformarse mediante un tratamiento con calor y presión. Luego en 1884 el Hilaire de Chardonnet creó una fibra sintética denominada "Seda Chardonnet ", una resina semisintética obtenida a partir de celulosa tratada. En 1907, Leo Baekeland descubrió una resina de fenol-formaldehído a la que llamó "baquelita" (Böll, 2019).

Sin embargo, hasta ese momento, se desconocía la verdadera naturaleza de los polímeros y se creía que eran estructuras moleculares compuestas de varias moléculas pequeñas y que sus propiedades se debían a las diferentes fuerzas de atracción que las mantenían juntas. El concepto de polímeros, se le atribuye a Hermann Staudinger quien en 1920 planteó la idea de que un polímero es una larga cadena de macromoléculas formada por enlaces covalentes (López Carrasquero, 2005, p. 5).

2.1.2. Tipos de polímeros

Según Meira y Gugliotta (2019) los polímeros pueden clasificarse de acuerdo a su aplicación en:

- **Termoplásticos:** son polímeros que se funden a altas temperaturas y mantienen su rigidez cuando están a temperatura ambiente. Pueden ser de tipo amorfo como el poliestireno (PS) y el policloruro de vinilo (PVC) o semicristalinos como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el tereftalato de polietileno (PET), el nylon, etc.
- **Fibras:** son un material cuya característica principal es la anisotropía y se generan en procesos de creación de materiales termoplásticos semicristalinos, como por ejemplo el polyester.
- **Termorrígidos:** son conocidos también como termoestables son plásticos infusibles e insolubles, es decir que no pueden ser fundidos ni disueltos. Entre los polímeros termorrígidos están las resinas epoxi, resina de fenol-formaldehído, etc.
- **Elastómeros:** son materiales elásticos, es decir que tras sufrir un esfuerzo recuperan rápidamente su forma original luego de retirar las tensiones que producían la deformación. Ejemplos de estos polímeros son el caucho sintético y la silicona.

2.2. Biopolímeros

Los biopolímeros son moléculas formadas por largas cadenas de monómeros del mismo tipo o de combinaciones diferentes (Torres et al., 2019) y que generalmente cuentan con un elevado peso molecular (Flores Nieves y Soto Zarazúa, 2020). Son producidos en su mayoría por organismos vivos, como microorganismos, plantas, animales, algas y hongos (Wankhade, 2020). Pero, también es posible obtenerlos a partir de la química sintética, desde fuentes biológicas de monómeros o polímeros, como por ejemplo: aceites vegetales, azúcares, grasas, resinas, proteínas, etc.(Molina y Flórez-Castillo, 2020). Los biopolímeros pueden ser biodegradables y no

biodegradables. Los biodegradables tienen gran variedad e incluyen la celulosa, almidón, quitosano, ácido poliláctico (PLA), entre otros (Narancic et al., 2020).

Los biopolímeros son utilizados en diversos campos, por ejemplo en, la salud (Manvi et al., 2019), en la alimentación (Ochi et al., 2020; Santos & Melo, 2020), la electrónica (Jia et al., 2021), la energía y el medio ambiente (Silva et al., 2020). Esta aceptación se debe a que traen beneficios tales como: i) son sostenibles, neutros en carbono y renovables, además son biodegradables y/o compostables (Saha et al., 2020); ii) su biodegradabilidad facilita la gestión de residuos en su etapa de posconsumo (Rojas-Bringas et al., 2021); iii) son productos no tóxicos, y seguros para el consumo oral (Ibrahim et al., 2019), iv) son diversos y sus propiedades mecánicas que pueden cubrir las necesidades del envasado y la conservación de productos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos (Saha et al., 2020) y v) son biocompatibles, es decir no tienen efectos adversos sobre los sistemas biológicos (Sukan et al., 2015). Sin embargo, la carga medioambiental de sus procesos de producción reflejan mejor la naturaleza sostenible de estos materiales (Rojas-Bringas et al., 2021).

2.2.1. Clasificación de los biopolímeros

Los biopolímeros se pueden clasificar de manera diferente en función de una escala y características propias, así, según su origen (Ibrahim et al., 2019), se pueden distinguir tres tipos: (i) naturales, cuando son extraídos de polisacáridos (almidón, celulosa y galactomananos) o de proteínas (caseína y gluten); (ii) sintéticos, extraídos mediante sinterización química a partir de monómeros bioderivados como el ácido poliláctico (PLA) y (iii) microbianos, producidos por microorganismos como polisacáridos y polihidroxialcanoatos (Hamouda, 2021).

Además, los biopolímeros se pueden clasificar en función de la base de su estructura principal polimérica, y pueden ser: policarbonatos, poliésteres, polisacáridos, poliamidas y

polímeros de vinilo. También, se pueden distinguir de acuerdo a la naturaleza de la unidad representativa en estructura: polisacáridos (formados por carbohidratos); proteínas (por aminoácidos) y en ácidos nucleicos (por nucleótidos) (Molina y Flórez-Castillo, 2020). Otra forma de clasificar los biopolímeros es con base de su respuesta al calor y pueden ser: elastómeros, termoplásticos y termoestables (Ibrahim et al., 2019). La figura 1, muestra todas las clases.

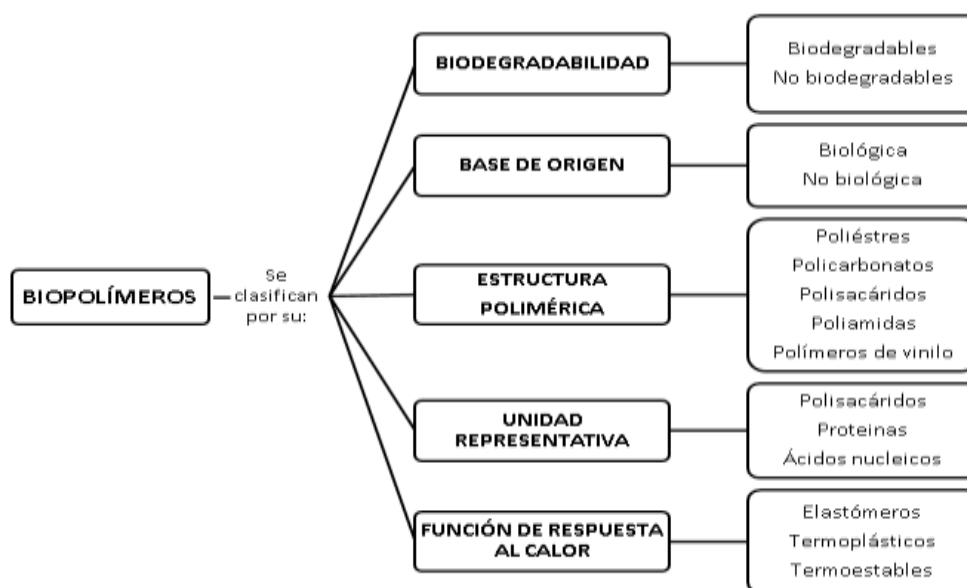


Figura 1. Clasificación de los biopolímeros. **Fuente.** Tomado de Molina y Flórez-Castillo (2020).

2.2.2. Biopolímeros a partir de residuos agrícolas

Los residuos agrícolas son considerados la mayor fuente de materia prima para la producción de biopolímeros. En este sentido Smyth et al. (2017) mencionan que, para la producción de biopolímeros, resulta muy importante optar por materiales de residuos agrícolas, debido a que de esta manera el impacto ambiental se reduciría y se aprovecharía mejor la tierra al utilizar la residencia agrícola como fuente de materia prima. De la misma manera Cornejo Reyes et al. (2020) señalan que los cultivos son viables para el procesamiento de productos biobasados sin comprometer la sostenibilidad alimentaria. Es decir, sin reducir la oferta de cierto cultivo que

está propuesto para la alimentación u otra finalidad. Adicionalmente es importante destacar que gracias a la abundante disponibilidad, la rentabilidad y las diversas propiedades asociadas con los recursos de origen vegetal actualmente se tienen una gran perspectiva económica para el desarrollo de polímeros de origen vegetal (Yadav et al., 2021).

En la literatura se encuentran múltiples investigaciones sobre la obtención de biopolímeros a partir de recursos vegetales como, por ejemplo, de residuos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (De Resende y Da Costa, 2019), de yuca (*Manihot esculenta*) (Jumaidin et al., 2020), de maíz (*Zea mays*) (Avellán et al., 2020; Bernhardt et al., 2019; Costa et al., 2015; Smyth et al., 2017), de cacao (*Theobroma cacao L.*) (Herrera-Rengifo et al., 2020), de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) (Cornejo Reyes et al., 2020), de paja de arroz (*Oryza sativa*) (Sindhu et al., 2016), entre otros.

Sin embargo, se ha reportado que actualmente los biopolímeros ocupan una fracción muy pequeña en el mercado de polímeros, el 1% de la producción mundial (Kosior y Mitchell, 2020). No obstante Bajpai (2019) afirma que la producción de biopolímeros continúa creciendo año tras año y se están posicionando como un buen candidato para suplantar a los polímeros petroquímicos. Así mismo, Kabir et al. (2020) señalan que, si los biopolímeros muestran mejoría en su biodegradabilidad y cumplen con todas las especificaciones técnicas, por ejemplo, en requisitos de propiedades fisicoquímicas y funcionalidades mecánicas en comparación a los plásticos convencionales, estos productos pueden ser una innovación sobresaliente en el mercado. Y se prevé que la capacidad de producción mundial de bioplásticos aumente de 2,1 millones de TM en 2020 a 2,8 millones de TM en 2025 (European Bioplastics, 2020).

2.3. Biomasa lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica (LCB, por sus siglas en ingles Lignocellulosic Biomass) es un material de origen vegetal que tiene una matriz compleja encontrada en las paredes celulares leñosas de las plantas. Este material está compuesto principalmente por polisacáridos: celulosa (9%-80%) y hemicelulosa (10% -50%), polímeros fenólicos: lignina (5% -35%), proteínas y otras fracciones menores que incluyen cenizas y componentes extractivos (Xu & Li, 2017; Yousuf et al., 2020). En la figura 2, se representa gráficamente la composición de la biomasa lignocelulósica.

La LCB se clasifica generalmente en tres tipos de residuos: (i) biomasa residual, como los rastrojos y el bagazo; (ii) biomasa virgen, como los árboles, arbustos y pastos, y cultivos energéticos que son materias primas utilizadas para producir biocombustibles (Yousuf et al., 2020).

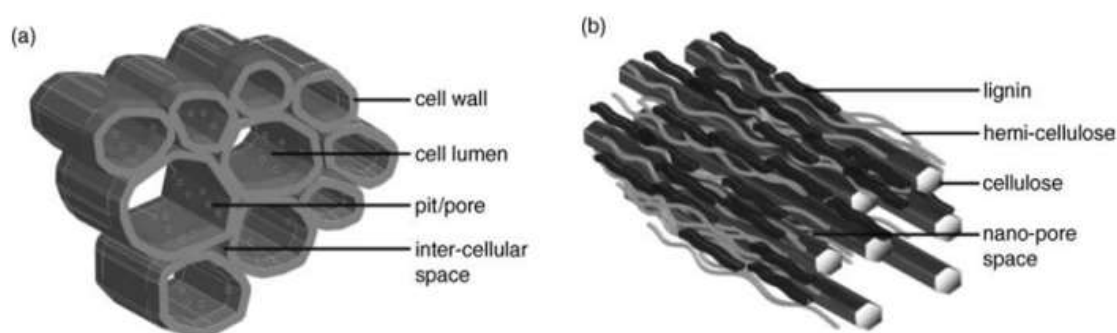


Figura 2. Representación gráfica de la LCB (a) estructura a escala celular y (b) escala macromolecular y composición. **Fuente.** Tomado de Davison, Parks, Davis, y Donohoe (2013).

2.3.1. Celulosa

La celulosa es un polisacárido y está formada por millones de unidades de D-glucosa unidas a través de enlaces β - (1-4) glicosídicos con la fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Saha et al., 2020). Es uno de los polímeros orgánicos más abundantes y disponibles en la tierra y es parte fundamental en la estructura de las plantas verdes, de gran variedad de algas y oomicetos (Gupta et al., 2019).

Las principales fuentes de celulosa durante años han sido el algodón y la madera y cuya utilización ha incurrido principalmente en aplicaciones de la industria textil, papelera y farmacéutica (Yousuf et al., 2020). Sin embargo, la sobreutilización de dichas fuentes por otros sectores industriales, como la energía y la construcción, y/o actividades como la deforestación a nivel mundial, ha desarrollado la necesidad de otras fuentes alternativas de celulosa como de plantas herbáceas, cultivos agrícolas y plantas no leñosas (Gabriel et al., 2020)

Los métodos de procesamiento más utilizadas para la obtención de celulosa incluyen tratamientos mecánicos (crio-trituración y homogeneización a alta presión) y químicos que incluyen técnicas de extracción basadas en enzimas, hidrólisis, carboximetilación y acetilación (Torres et al., 2019).

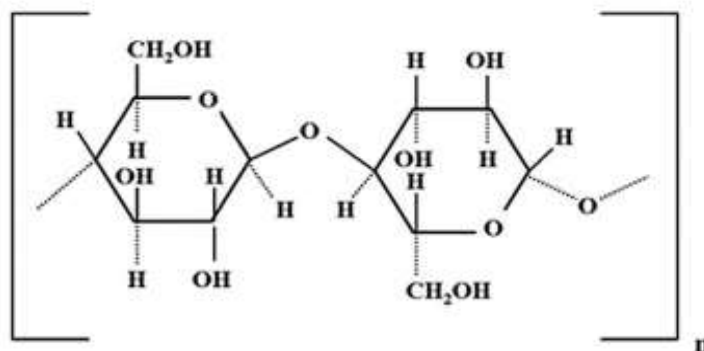


Figura 3. Estructura química de la celulosa. **Fuente.** Tomado de Saha et al. (2020).

2.3.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa es un polisacárido de tipo amorfo y que está formado de una cadena corta con 500–3000 unidades monoméricas con grupos ácidos (Gibson, 2012). Según su estructura, las hemicelulosas se dividen en cuatro clases principales: xilanos, mananos, xiloglucanos y β -glucanos de enlace mixto (Qaseem et al., 2021).

Hay muchas fuentes de hemicelulosa como trigo, arroz, maíz, etc. y son utilizadas en numerosas aplicaciones industriales como aditivos alimentarios, envases, aplicaciones medicinales y recubrimientos (Ibrahim et al., 2019).

2.3.3. Lignina

La lignina es el segundo material orgánico complejo natural más abundante de la tierra y se encuentra constituyendo parte de tejidos de la pared celular de las plantas vasculares y de diversas algas (Yousuf et al., 2020). Su estructura está compuesta por diferentes grupos funcionales tales como: hidroxilo, metoxilo, carbonilo, carboxilo, entre otros y en su componente reticulado consta de tres tipos básicos de monómeros: cumaril alcohol (H), alcohol de coniferilo (G) y alcohol sinapílico (S) (Bajwa et al., 2019).

Este biopolímero es una materia prima de gran disponibilidad, obtenible a bajo costo y tiene buenas propiedades físicas y químicas, y está presente en todas las plantas terrestres en un rango aproximado de 15 a 30% en peso seco y 40% en energía (H. Wang et al., 2019)

2.4. Almidón

El almidón es el segundo producto agrícola más importante después de la celulosa y está contenido en distintas parte de la planta: en sus raíces, tallos y semillas en forma de gránulos y representa la principal reserva de su energía (Ibrahim et al., 2019). La disposición de los gránulos de almidón en los vegetales consiste en capas radiales con alternancia de regiones cristalinas y amorfas que derivan de la estructura concéntrica. (Luchese et al., 2017). Este polisacárido está constituido por dos polímeros de glucosa: la amilosa en un rango de un 20 a 30%, y la amilopectina en un 70 a 80%. Otros componentes menores de los gránulos de almidón son lípidos, proteínas y minerales, cuyas cantidades varían según el origen botánico de la planta (Torres et al., 2019).

El almidón y sus derivados han sido ampliamente utilizados en diferentes industrias como la industria alimentaria (es considerado el principal nutriente para el ser humano), la industria farmacéutica, medicinal, papelera, la industria gráfica, textil, entre otras (Ibrahim et al., 2019).

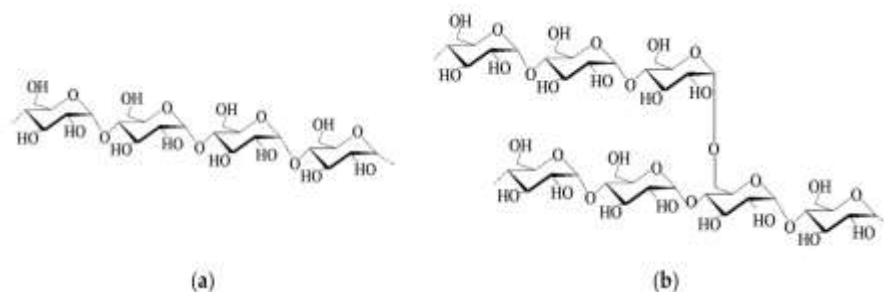


Figura 4. Representación esquemática de amilosa (a) y amilopectina (b). **Fuente.** Tomado de Torres et al. (2019).

2.5. Maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es una de angiosperma completamente doméstica y no crece en forma silvestre (L. Paliwal, 2001). Esta planta actualmente tiene gran importancia económica, tanto como fuente alternativa de alimentación y energía (Bernhardt et al., 2019). Es una planta frondosa con raíces fibrosas y tallo poco ramificado de donde se desprenden hojas alentadas, además, cuenta con brotes laterales (mazorcas) en la parte superior de las axilas de las hojas y en la parte superior de la planta se encuentra una espiga central con ramificaciones en donde se producen el polen (Sánchez Ortega & Pérez-Urria, 2014).

El maíz se cultiva en todo el mundo; sin embargo, existen significativas diferencias en el rendimiento de su producción, y su uso y comercialización incluyen productos de tipo comestible y que contienen nutrientes (Ranum et al., 2014). Este es el único cereal que tiene la ventaja de ser utilizado como alimento en cualquier etapa del crecimiento de la planta, desde el crecimiento de las espigas jóvenes (*maíz baby*) pasando por las mazorcas tiernas hasta las mazorcas maduras (L. Paliwal, 2001).

En Ecuador, la cosecha de maíz forma un legado de tradiciones agrícolas y alimentarias. La producción nacional de maíz seco supera el millón de toneladas, siendo las provincias de Los Ríos y Guayas las de mayor producción. Las dos provincias concentran el 60% del área cosechada y el 75% de la producción del país (Martillo et al., 2020).



Figura 5. Partes de la planta de maíz. **Fuente.** Tomado de Martillo et al. (2020).

2.5.1. Rastrojo de maíz

El rastrojo de maíz se produce como subproducto después de la cosecha del grano de maíz y se ha estimado en 75 millones de toneladas por año, con mucha más oferta en el futuro y actualmente es, con mucho, el residuo de cultivo más abundante disponible en la actualidad (Bernhardt et al., 2019).



Figure 6. Rastrojo de maíz. **Fuente.** (Autores, 2022).

El rastrojo de maíz está formado por el tallo, las hojas, las vainas, las cáscaras, los tallos, las mazorcas, las borlas, las mazorcas inferiores y las sedas (Pennington, 2020). Estos residuos generalmente suelen ser quemados y/o arados y dejados en los campos como fuente de materia orgánica y nutrientes para la mejora y conservación del suelo, o en otros casos se utiliza como cama y alimento para la producción de (Sánchez Laiño et al., 2015; Yang et al., 2016) Sin embargo, los efectos negativos de la eliminación del rastrojo de maíz sobre la disponibilidad de nutrientes del suelo, la materia orgánica del suelo, la erosión y escorrentía del agua, la erosión del viento y el agua del suelo son las preocupaciones más comunes (Yang et al., 2016) y que pueden presentar impactos a largo plazo en la calidad del suelo y la erosión a menos que se haga con un enfoque sostenible (Bernhardt et al., 2019).

Por otro lado, las plantaciones de maíz-semilla representan una fuente atractiva de residuos de biomasa, de donde puede obtener una cantidad significativa de energía renovable y productos de valor agregado (Martillo Aseffe et al., 2021).

Capítulo 2

3. Materiales y Métodos

Es proyecto se estableció en tres etapas. Primeramente, se realizó la extracción y caracterización de la celulosa; luego en una segunda etapa se realizó la formulación optima, creación y caracterización del biopolímero, y finalmente en una tercera etapa se realizó el estudio del diseño y sustentabilidad de una empresa productora de biopolímeros.

3.1. Primera Etapa

3.1.1. Obtención de la materia prima

El rastrojo de maíz utilizado en esta investigación se obtuvo de un sembrío ubicado en el sector del Carmen del Verdillo comunidad de la parroquia rural de Sinincay localizada al noroeste del cantón Cuenca, Ecuador.

Una vez recolectado el material Figura 6, se retiró las impurezas y se llevó a los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana matriz Cuenca, donde se realizó el trabajo experimental.



Figura 7. Obtención del rastrojo de maíz. **Fuente.** (Autores,2022).

3.1.2. Pretratamiento de materia prima

3.1.3. Secado de rastrojo

El rastrojo se secó, en una estufa Memmert a 100 °C por dos horas con la finalidad de minimizar el porcentaje de humedad de la muestra (<7%). Para conocer la humedad deseada se utilizó un halógeno Mettler Toledo HB43-S, y se obtuvo una humedad de 4%.



Figura 8. Secado de rastrojo de maíz. **Fuente.** (Autores,2022).

3.1.4. Molienda del rastrojo

Previo a la molienda, el rastrojo se picó a un tamaño aproximado de 3 cm de longitud, luego se molió 100 g de rastrojo en un molino Polymix PX-MFC 90 D con un tamiz de 4 mm.



Figura 9. Molienda del rastrojo de maíz. **Fuente.** (Autores, 2022).

3.1.5. Hidrólisis alcalina

La fibra de rastrojo se trató en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) diluido al 2% en agua destilada (Singh et al., 2020). En un recipiente se colocó la fibra en una proporción 1:10

(p/v) con la solución NaOH a 90°C durante 90 minutos y con agitación constante (Gabriel et al., 2020). Al finalizar la hidrólisis, se filtró el líquido, un “licor negro”, que se forma cuando se separa la lignina de la celulosa (Amaya, 2021), y por último, la pulpa resultante se lavó con agua destilada hasta obtener un pH básico.

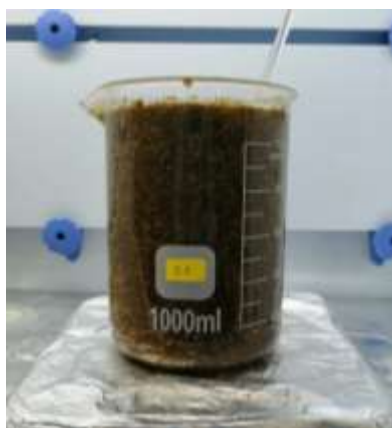


Figura 10. Hidrólisis básica. **Fuente** (Autores,2022).

3.1.6. Hidrólisis acida

Esta hidrólisis se realizó con la finalidad de eliminar los componentes diferentes a la celulosa que no se eliminaron en el proceso anterior. Para lograr dicho objetivo se utilizó la metodología de Martínez (2017) con ligeras modificaciones. En un recipiente se colocó la pulpa obtenida en la hidrólisis ácida y una solución de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 6% en una relación 1:5 (p/v) a 90 °C por 60 minutos. Luego la pulpa obtenida se filtró y lavó con agua destilada hasta tener un pH ácido.



Figura 11. Hidrólisis ácida. **Fuente** (Autores, 2022).

3.1.7. Blanquimiento

La pulpa se blanqueó con Hipoclorito de sodio (NaClO). Se estudió por separado la eficiencia de blanqueamiento para concentraciones de NaClO al 10% y 2,5%. Se colocó en un recipiente la pulpa y la solución de NaClO en una relación 1:5 (p/v), por 15 minutos, a 90 °C y con agitación constante. Este procedimiento ayudo a obtener celulosa blanqueada, la cual se filtró y se lavó con agua destilada hasta lograr un pH neutro. Finalmente, la celulosa se secó en una estufa Memmert a 50 °C por 24 horas.



Figura 12. Blanqueamiento de la celulosa. **Fuente** (Autores,2022).

3.1.8. Rendimiento de celulosa

. Con la finalidad de optimizar los procesos de aislamiento de celulosa se plantearon cuatro métodos: i) AC1= Agua corriente y NaClO al 10%; ii) AD1 Agua destilada y NaClO al 10%; iii) AC2= Agua corriente y NaClO al 2,5%; y iv) AD2= Agua destilada y NaClO al 2,5%, Se utilizó el mismo procedimiento de aislamiento de celulosa para todos los métodos y se calculó el rendimiento (%) con la Ecuación 1 (Wang & Zhao, 2021).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso de celulosa seca (g)}}{\text{Peso de fibra cruda utilizada para la extracción (g)}} * 100 \quad (1)$$

3.1.9. Método de aislamiento con agua corriente

Con la finalidad de mejorar la eficiencia económica en el proceso productivo de obtención de celulosa, se estudió otro método de aislamiento, usando agua corriente (AC) en remplazo de agua destilada (AD), tanto como disolvente en la preparación de soluciones como en el lavado de la pulpa. La metodología de tratamiento de la fibra para la obtención de celulosa con AC fue el mismo que se utilizó en el método AD y como comprobación de eficiencia se realizó la comparación y caracterización de la celulosa obtenida por cada método.

3.1.10. Determinación de los componentes de la fibra del rastrojo de maíz

Los componentes lignocelulósicos del rastrojo: celulosa, lignina y hemicelulosa se determinaron en un equipo de extracción Dosi Fiber J.P-Selecta, empleando el método Fibra Ácido Detergente (FAD) siguiendo el procedimiento analítico descrito por Van Soest y Wine (1967) que se detalla en (FAO, 1993).



Figura 13. Determinación de componentes del rastrojo de maíz, Dosi Fiber J.P-Selecta. **Fuente** (Autores, 2022).

3.1.11. Prueba de identificación de la presencia de almidón

Para conocer si el rastrojo analizado contenía almidón, se utilizó la prueba de complejo del yodo Lugol de acuerdo a la metodología de Mogrovejo, (2019). Se colocó 0,50 g de rastrojo de maíz y 1 ml de agua destilada en tubos de ensayo agregando dos gotas de solución de Lugol y se observó si se produce un cambio de colorimetría a azul.

3.1.12. Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron al menos por triplicado y se utilizó el análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y se aplicó la prueba de Tukey para analizar diferencias significativas de las medias ($p < 0,05$) mediante el software SPSS v22.0. Todos los datos se presentaron como media $\pm$ desviación estándar (DE) (Vahedikia et al., 2019).

3.2. Segunda etapa

3.2.1. Dosificación óptima del biopolímero

Para realizar las dosificaciones se revisaron trabajos previos (Ortega, 2019; Pesántes & Alberca, 2021), las dosificaciones ensayadas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificaciones.

Código de la muestra	Celulosa (g)	Agua (ml)	Ácido Acético	Alcohol polivinílico	Glicerina
M1	1	10	3	1	2
M2	1	6	1	0	1
M3	1	20	3	1	2
M4	1	20	1,5	0,5	1
M5	1	12	1	1	1
M6	1	20	2	1	1
M7	1	15	2	1	2,5
M8	1	20	1	1,5	1
M9	1	15	1,5	1	1,5
M10	2	12	3	0	2
M11	2	20	3	0	2
M12	2	12	1	0	1
M13	2	20	2	0	1
M14	2	20	1	0,5	1
M15	4	20	1	0,5	1
M16	4	20	1	1	1
M17	4	20	1	1,5	0
M18	3	20	1	1	0
M19	3	20	1	1	0,5
M20	3	20	1	1	1
M21	3	20	0	1	0,5
M22	3	25	1	1,5	0
M23	3	20	0,5	1	0,5
M24	3	40	0,5	1	0
M25	6	40	2	2	0
M26	6	40	2	2	0,5
M27	1	12	3	1	0
M28	1	20	3	1	0
M29	1	12	1	1	0
M30	1	40	1	1	0
M31	1	40	0	1	0
M32	3	40	3	1	0
M33	1	50	0	2	0
M34	1	20	1	1	0

3.2.1.1.Componentes

Celulosa: Es un polímero natural que puede ofrecer resistencia y la característica de biodegradabilidad a la película y se puede combinar con otros componentes para mejorar sus características (Solano-Doblado et al., 2018)

Alcohol Polivinílico (PVA, por sus siglas en inglés): El PVA es el polímero sintético soluble en agua más abundante y de bajo costo (Xiao et al., 2016). En la creación de películas funciona como matriz polimérica y tiene excelente resistencia química, propiedades ópticas y físicas que se puede combinar con otros polímeros o rellenos para mejorar sus propiedades y crear películas biodegradables (Mihaela Jipa et al., 2012).

Ácido acético: Este ácido mejora la cristalinidad de las películas, sin embargo, se conoce que en altas concentración de ácido disminuye la tenacidad y la resistencia máxima a la tracción (Abdolrahimi et al., 2018) y las películas se vuelven amorfas (Ubale & Ibrahim, 2011).

Agua: El agua funciona como disolvente y medio de dispersión de los componentes de la película. Los cambios en el contenido de agua influyen en su resistencia y flexibilidad, provocando una reducción de tamaño y deformación (Fernández-Espada, 2016).

3.2.1.2. Preparación de biopelículas

Para la preparación de las biopelículas se siguió el método de colada en solución como se describe en (Arun et al., 2022), con ligeras modificaciones. Se usó PVA (10%) como matriz de polímero. El PVA se fundió calentándolo en agua destilada a 90 °C por 30 minutos y con agitación constante, luego se adicionó ácido acético, agua y la celulosa, en cantidades ya calculadas y de acuerdo a cada dosificación previamente establecida (Tabla 1). Se mezcló a temperatura cálida y la solución formadora de biopelícula preparada se vertió sobre una caja Petri plástica y se secó en una estufa a 50° C por 24 horas.

Para determinar la dosificación óptima de la biopelícula se siguió la metodología de Pesántes y Alberca (2021) con ligeras modificaciones que usan una evaluación cualitativa basados en: la formación de biopelícula, transparencia, resistencia tensil, la resistencia al quiebre y homogeneidad (Tabla A1). Esto ayudo a mejorar las dosificaciones conforme avanzó la experimentación.

La evaluación cualitativa consistió en ponderar con un valor numérico la cualidad de cada parámetro, se pondero en cuatro niveles: Bajo=1, Medio=2, Alto=3 y Muy alto = 4.

3.2.2. Métodos de Caracterización

3.2.2.1. Análisis FTIR

La espectroscopia FTIR es un método no destructivo para examinar las propiedades fisicoquímicas de los materiales lignocelulósicos y un medio muy eficaz para investigar interacciones específicas entre polímeros (Xiao et al., 2016).

La espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier espectroscopia (FTIR) se realizó utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific-Smart iTX™ en el rango de frecuencia de 4000 - 400 cm⁻¹.

3.2.2.2. Análisis térmico

Se realizaron análisis termogravimétricos (TGA, por sus siglas en inglés) y de calorimetría de barrido diferencial (DSC, por sus siglas en inglés) a la celulosa y el biopolímero, en el Laboratorio de Evaluación de Materiales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Los análisis TGA se realizaron en un Analizador termogravimétrico TA instruments SDT Q600, en atmósfera de nitrógeno a un caudal de 50 ml/min, con una velocidad de calentamiento constante de 1 °C min⁻¹ y en un rango de temperatura de 23 a 900 °C. Se determinó la pérdida de peso (%) a la temperatura de descomposición del material, así como el carbón residual (%) a los

900 °C y los análisis DSC se realizaron en un Calorímetro diferencial de barrido TA instruments Q200, a una velocidad de calentamiento y enfriamiento constante de 10 °C min⁻¹ y en un rango de temperatura de -95 a 300 °C.

3.2.2.3. Análisis de propiedades mecánicas

La resistencia a la tracción y la propiedad de elongación a la rotura de las películas se probaron utilizando una máquina universal de ensayos Shimadzu (Serie AGX-V) siguiendo el protocolo estándar ASTM D638 espécimen IV (Sanders et al., 2019). Para llevar a cabo el análisis se utilizó una distancia de agarre inicial de 30 mm, una velocidad de cruceta constante de (5,78 mm/min) y una carga de celda de 20000 N.

La dureza se midió con un durómetro Rex Gauge-1600, usando el protocolo ASTM D2240 (dureza Shore A) se midió en cinco secciones del biopolímero y se obtuvo la media.

3.2.2.4. Estudio de biodegradación

La biodegradabilidad de las muestras del biopolímero se realizó mediante el método de enterramiento en suelo bajo una atmósfera exterior normal a 30–35 °C y 25 % de humedad (Ramesh & Radhakrishnan, 2019).

Se tomó 2000 g de suelo de jardín en recipientes, luego se colocó una cantidad pesada del biopolímero (W_o) y se cubrió complemente la muestra. Se tomó el peso de las muestras a intervalos regulares de 5 días (W_f), para obtener dicho peso previamente la muestra se secó por 24 horas a 70°C. para eliminar la humedad (Arun et al., 2022). Como resultado, la tasa de biodegradación se calculó a partir de la diferencia de peso según la siguiente ecuación (Abdullah & Dong, 2019):

$$Tasa\ de\ degradación\ (\%) = \frac{W_o\ (g) - W_f\ (g)}{W_o\ (g)} * 100 \quad (2)$$

Finalmente, se estimó la biodegradación total del biopolímero, para esto, se proyectaron en el software Microsoft Excel 2016, los resultados de la tasa de biodegradación y se obtuvo la Ecuación (3) que ayudo estimar la biodegradación total.

$$TB = 0,0014t^2 + 1,2917t - 0,0089 \quad (3)$$

3.3. Tercera etapa

3.3.1. Estudio de producción

Para representar los procesos se utilizaron diagramas de flujos que son una representación gráfica clara, ordenada y fácil de interpretar el diseño de un proceso de producción (R. Miranda, 2020, p. 35). Es una herramienta de modelo esquemático para comprender un proceso productivo de una organización (Gutiérrez, 2022).

3.3.2. Disponibilidad de materia prima

El estudio de disponibilidad de materia prima se delimitó a cinco sembríos ubicados en la parroquia de Sinincay. Además, para conocer la disponibilidad de materia prima se calculó el área de los sitios muestreados mediante Sistemas de Información Geográficos (SIG).

Por otro lado, para conocer la producción de rastrojo de maíz, se aplicó una medición in situ, utilizando parcelas de 4x4 metros en los sitios definidos para el muestreo (figura 14). Se delimito el espacio con estacas y cuerdas en cada sitio seleccionado, luego se cortó el rastrojo y finalmente se pesó. Se realizaron diez mediciones dos por cada sitio de muestreo.



Figura 14. Método de muestreo de parcela 4x4. **Fuente.** (Autores, 2022).

3.3.3. Análisis económico

Se determinó la factibilidad de inversión mediante la aplicación de indicadores del VAN y TIR para la evaluación económica – financiera del proyecto. Estos indicadores según Uzcátegui, (2007) establecen resultados proyectados que permiten verificar si la propuesta de inversión será económicamente rentable.

3.3.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN se encarga de comparar la inversión inicial con el valor actual de ingresos netos, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{c_n}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Donde:

C_0 : La inversión inicial

c_n : El flujo de caja del año

i : La tasa de descuento

$\sum_{i=1}^n \frac{c_n}{(1+i)^n}$: Representa la actualización de flujos

Un VAN positivo indica que la inversión es aconsejable, porque la suma de los flujos de caja en el año 0 será positiva. Caso contrario si el resultado es un VAN negativo, se debe descartar la inversión porque se obtendrá pérdidas (Montaño, 2016, p. 149).

3.3.3.2.Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno permite conocer la rentabilidad de un proyecto, además es la tasa de descuento que iguala al valor de los ingresos y egresos correspondientes (Zarauz & Lastra, 2018). Además, se utiliza como criterio en la toma de decisiones con respecto a la inversión y financiamiento de proyectos. Es decir, es la tasa de descuento que empata el valor de ingresos y egresos de una empresa (Simisterra Quiñonez et al., 2018).

La TIR se calcula mediante la siguiente ecuación (Delapedra-Silva et al., 2022):

$$0 = \sum_{i=0}^N \frac{CF_i}{(1+k)^i} \quad (5)$$

Donde:

CF_i: Flujo de caja en el año i

k: Tasa de descuento.

N: Duración del proyecto, en años.

Mete (2014) establece tres criterios con respecto al TIR:

- i. Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto es rentable porque sus ingresos cubren los egresos generados.
- ii. Si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es rentable, y se presenta dos alternativas:

- TIR menor pero mayor a 0, significa que los ingresos logran apenas cubrir los egresos del respectivo proyecto y no aporta beneficios extras.
 - TIR menor a 0, significa que los ingresos no cubren los egresos, motivo que el proyecto obtendrá pérdidas.
- iii. Si la TIR es igual a la tasa de expectativa es indiferente realizar el proyecto o escoger las alternativas, ya que generan idéntico beneficio

4. Discusión y Resultados

4.1.Determinación de componentes

Para el análisis de componentes se molió 100 g de rastrojo de maíz que contenía hojas, tallo, flores y cobertura de mazorca. El tamaño de tamiz fue de 1 mm, y con la finalidad de analizar una muestra homogénea, la masa obtenida se dividió en cuatro lotes, de donde se tomó tres alícuotas de $1\pm 0,005$ g para el análisis experimental. Los resultados de cada tratamiento se presentan en el Apéndice B (Tabla B1).

El contenido de la FAD fue de 48,54% valor similar a lo obtenido por López-Inzunza et al. (2017) y Cuervo y Gutiérrez (2018) que indicaron una FAD de 46,5 % y 46,75% respectivamente. Mientras que Nuñez et al. (2010) obtuvieron un valor de 37,11 % que resulta inferior en aproximante 11% a lo determinado en este estudio. El contenido de FAD atribuye que cerca de 50% de la fibra es lignina y celulosa (Hindrichsen et al., 2006).

El contenido porcentual de los componentes lignocelulósicos fue de 42,57% para celulosa, 7,15 % para lignina y de 50,28% para hemicelulosa más otros componentes. Los resultados coincidieron con lo indicado por otros autores como Costa et al., (2015) y López-Malvar et al. (2021) que informaron cantidades porcentuales de 39,4- 45,50% para celulosa; 6,77-14,9 % para

lignina y 27,59-33,1% para hemicelulosa cuyo valor no se pudo comprobar debido a que dicho componente no fue caso de estudio en esta investigación. Mientras que otra investigación de Cuervo y Gutiérrez (2018) reportaron valores inferiores de lignina, 5,75% y 4,6 % en rastrojo ensilado, y ensilado y amonificado, respectivamente. Por lo que, se determina que los tratamientos de conservación del rastrojo minimizan el porcentaje de lignina, pero incrementa el porcentaje de celulosa como se informó en dicho estudio.

El análisis estadístico demuestra que la varianza entre tratamientos no es representativa, esto se comprobó al analizar los resultados que presentan una significancia muy buena que esta sobre el 88% (ver Tabla 2).

Tabla 2. Componentes de la fibra de rastrojo de maíz.

Lotes	FAD (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Hemicelulosa y otros* (%)
1	48,62 ± 0,95a	42,87 ± 1,25a	7,14 ± 0,52a	50,47 ± 1,03a
2	48,23 ± 0,74a	42,10 ± 0,86a	6,97 ± 0,55a	49,97 ± 1,82a
3	48,52 ± 1,44a	42,42 ± 1,06a	7,07 ± 0,42a	50,15 ± 1,78a
4	48,78 ± 0,67a	42,88 ± 1,70a	7,42 ± 1,64a	50,51 ± 1,24a
Media	48,54 ± 0,84	42,57 ± 1,12	7,15 ± 0,81	50,28 ± 1,31
Varianza	0,041	0,108	0,028	0,051
Significancia	0,88	0,868	0,929	0,969

Nota. Se indican la media ± DE para cada lote y para la media total. El valor de n=3 y p< 0,05; *el valor considera hemicelulosa y otros componentes como sílices, pectinas y cenizas. Valores con misma letra estadísticamente reflejan que no hay diferencias significativas.

El resultado de la prueba Yodo-Lugol indicó que no existía almidón en la muestra de rastrojo de maíz analizada, esto se comprobó debido a que no hubo el cambio de coloración en la muestra.



Figura 15. Determinación de almidón en el rastrojo de maíz. **Fuente.** (Autores, 2022).

4.2.Rendimiento

El rendimiento de celulosa se analizó para cuatro métodos, de acuerdo al tipo de agua utilizada y para concentraciones diferentes de NaClO en el proceso de blanqueamiento.

Los rendimientos se calcularon gravimétricamente, se realizaron seis ensayos para cada método (ver Apéndice B) y se analizaron mediante ANOVA (ver Tabla 3). Los resultados se presentan como medias de cada método (ver Tabla 4).

Tabla 3. Comparaciones múltiples entre cada ensayo mediante ANOVA

Ensayos (n=6)		Diferencia de medias (i-j)	Significancia	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
AD1	AC1	4,05833*	0,030	0,3230	7,7936
	AD2	-3,66167	0,056	-7,3970	0,0736
	AC2	-3,05667	0,134	-6,7920	0,6786
AC1	AD1	-4,05833*	0,030	-7,7936	-0,3230
	AD2	-7,72000*	0,000	-11,4553	-3,9847
	AC2	-7,11500*	0,000	-10,8503	-3,3797
AD2	AD1	3,66167	0,056	-0,0736	7,3970
	AC1	7,72000*	0,000	3,9847	11,4553
	AC2	0,60500	0,968	-3,1303	4,3403
AC2	AD1	3,05667	0,134	-0,6786	6,7920

AC1	7,11500*	0,000	3,3797	10,8503
AD2	-0,60500	0,968	-4,3403	3,1303

Nota: * La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 4. Rendimiento de aislamiento de celulosa

Método	Rendimiento (%)	Varianza
AC1	23,48 ± 2,15a	7,651
AD1	27,54 ± 2,77b	4,601
AC2	30,60 ± 1,75b	6,052
AD2	31,20 ± 2,46b	3,066

Nota. El rendimiento se presenta como media ± DS. Promedios con letra igual, estadísticamente no representan diferencia significativa ($p < 0,05$).

Los resultados de ANOVA indicaron diferencias de medias significativas para AC1, con respecto a los otros tres métodos ensayados, lo mismo se comprobó con la prueba de Tukey, donde se concluye los métodos AD1, AC2 y AD2 no tienen diferencias significativas en sus medias. Por lo tanto, se puede utilizar cualquiera de estos métodos, sin embargo, la mejor opción es AC2, por aspectos de costos en el aislamiento de celulosa.

Por otro lado, se determinó que con la concentración de NaClO al 10%, el rendimiento de la celulosa disminuyó, esto que se atribuye a la ruptura del enlace glucosídico en la celulosa (degradación de la celulosa) (Aradi et al., 2021), lo mismo se informó en (Aurelia et al., 2019).

El rendimiento de celulosa obtenido en este estudio coincide con lo obtenido por Singh et al. (2020) que lograron un 25,90 % y 29,60 % de celulosa a partir de cobertura de maíz, y mazorca de maíz. Sin embargo, en el mismo estudio se reportó un rendimiento de un 39,32% para rastrojo, Por lo que se concluye, que valores más altos de celulosa podrían encontrarse en el tallo del maíz. Se han obtenido también, rendimientos altos 29-84,5 % aplicando otros métodos de aislamiento (Glińska et al., 2021).

4.3. Caracterización de polímeros

Se ensayaron 34 dosificaciones con diferentes composiciones de celulosa, agua, PVA, glicerina y ácido acético, se obtuvo la ponderación más alta para el biopolímero M33 cuya relación en peso de sus componentes fue 1/2/50 p/p/p de celulosa/PVA/agua. El resultado de la evaluación cualitativa se muestra en la Tabla A2.



Figura 16. Celulosa con diferente tipo de agua y biopolímero granulado.

Fuente. (Autores, 2022). **Nota.** a: Celulosa AC; b: Celulosa AD; c: Celulosa AC en polvo y d: Biopolímero granulado.

4.3.1. Análisis FTIR

En las Figuras 17 y 18 se observa los espectros de la celulosa obtenida con el método AD y AC respectivamente, el comportamiento de las bandas espectrales es prácticamente igual en los métodos de extracción.

Los picos observados en 3330-3328 cm^{-1} y 2891-2888 cm^{-1} están relacionados con el estiramiento de los grupos OH y CH respectivamente, estos son los principales grupos funcionales encontrados en los materiales lignocelulósicos (Xiao et al., 2016). Las bandas espectrales en los picos 1636-1630 cm^{-1} se atribuyen a la flexión OH del agua adsorbida (Deepa et al., 2015), mientras que el pico a 1427 cm^{-1} se debe a la flexión del enlace sencillo CH_2 que es un pico cristalino de celulosa. Así mismo, el pico de vibración a 1315 cm^{-1} está relacionado con la flexión de los enlaces CH y CO en los anillos aromáticos de polisacáridos (Singh et al., 2020). Las bandas espectrales a 1159-1158 cm^{-1} corresponde al estiramiento del anillo C-C (Deepa et al., 2015), en 1023-1025 cm^{-1} se atribuyen a las vibraciones de estiramiento de los enlaces C-O-C (Amaya, 2021), y en 896 cm^{-1} representan la deformación del CH glucosídico y la flexión del OH, que son particularidades conocidas de los enlaces β -glucosídicos entre unidades de celulosa (Singh et al., 2020). Los espectros analizados indican que el material analizado es efectivamente celulosa por lo que la metodología utilizada de extracción es eficiente.

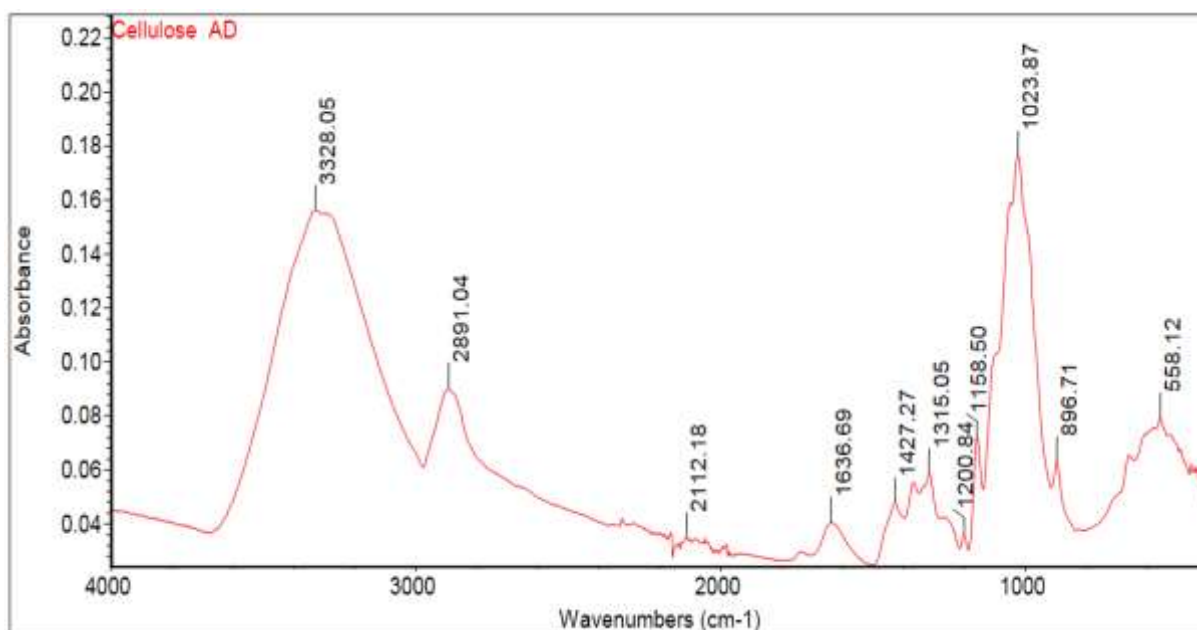


Figure 17. Análisis FTIR de la celulosa con agua destilada. **Fuente** (Autores, 2022).

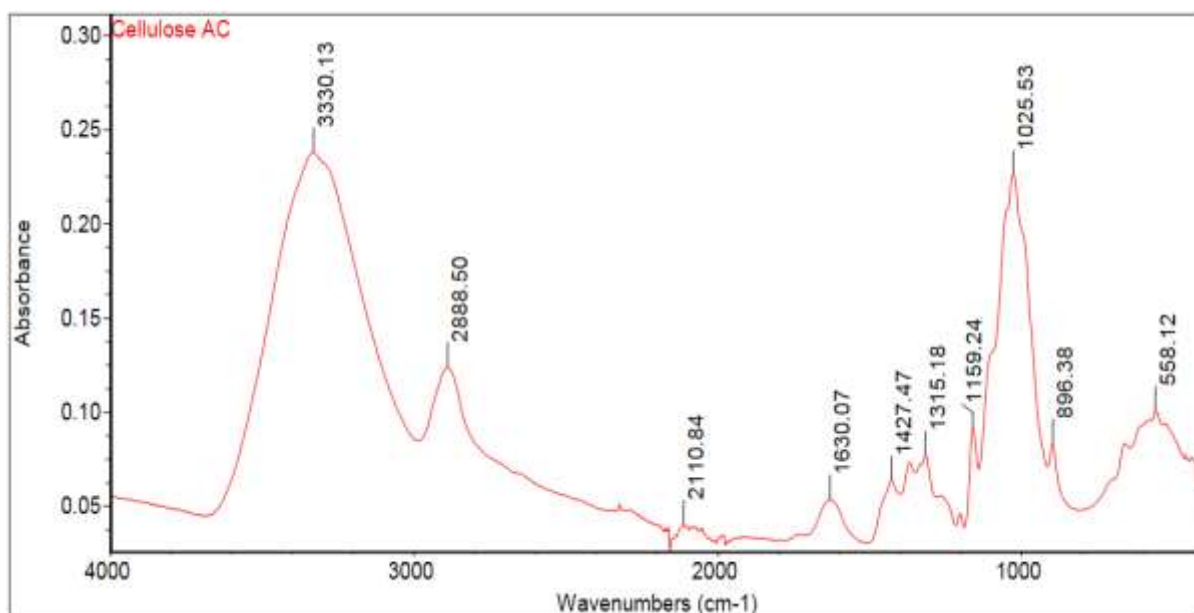


Figura 18. Análisis FTIR de la celulosa con agua corriente. **Fuente** (Autores, 2022).

4.3.2. Análisis térmico

4.3.3. Análisis TGA

El TGA de la celulosa y biopolímero se indican en las Figuras 19 y 20 respectivamente. El termograma indica la pérdida de masa del material sometido a cambios térmicos. El análisis se realizó a 8,47 mg de celulosa y 10,41 mg de biopolímero. El rango de temperatura fue de 23-900 °C. Se obtuvo un residuo de 14,80% (1,255mg) y de 8,18% (0,854 mg) para celulosa y biopolímero respectivamente. Estas cenizas, probablemente fueron de residuos sólidos (metales y otros) cuya temperatura de degradación está por encima de los 900 °C (Cheng et al., 2012).

Para la celulosa se identificaron tres eventos térmicos (figura 19). El primero determinó una pérdida de masa que se evidencia en el pico a 48,19 °C, esta se atribuye a la evaporación del agua contenida en la celulosa (Leal et al., 2015). La segunda pérdida de masa es significativa e inicia cerca de los 200 °C y termina aproximadamente a los 500 °C, teniendo su punto máximo a los 330,92 °C como se observa en el segundo pico del termograma. Esta pérdida se relaciona estrictamente con la descomposición térmica de la celulosa en la atmósfera oxidante (Díez et al., 2020). Este resultado concuerda con otros estudios de descomposición térmica de la celulosa en atmósfera de nitrógeno (Cheng et al., 2012; Costa et al., 2015; Qiao et al., 2019; Yu et al., 2017)

El tercer evento que ocurre por encima de los 700 °C está asociado con la combustión del residuo carbonoso (CO y CO₂) que se forman debido al intenso calor (Leal et al., 2015).

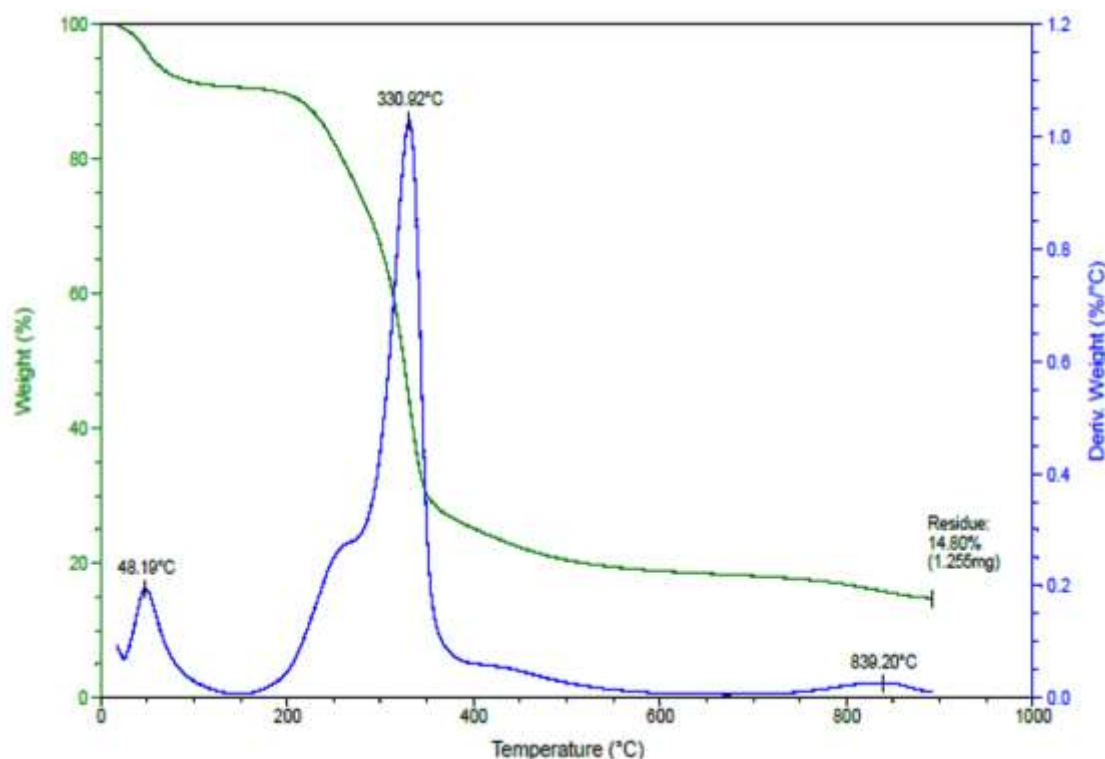


Figura 19. Análisis Termogravimétrico de la celulosa. **Fuente** (Autores, 2022).

El termograma del biopolímero de composición PVA/ celulosa en una relación 2:1 (p/p) (Figura 20) indica una degradación similar a la celulosa hasta cerca los 400° C. El primer paso de degradación térmica se observó a los 50,48; que se atribuye a la pérdida de agua de biopolímero (Jancy et al., 2020). La segunda degradación se da a 337,6 °C, que se debe a la degradación térmica de la celulosa y de la cadena lateral de PVA y la tercera dada a 429,10 °C responde a la degradación de la cadena principal de PVA (Xiao et al., 2016).

La degradación máxima del biopolímero analizado concuerda con lo indicado por Xiao et al. (2016) que analizaron biopelículas de PVA con Nanofibras de celulosa de cascara de maíz 7:1 relación (p/p). De igual forma el comportamiento de degradación es similar al de otros biocompuestos, cuya región de degradación y degradación máxima se identificó dentro de 250-500 °C, por ejemplo, polímeros de PVA reforzado con Nanopartículas de arcilla y Nanofibras de

celulosa de nuez de areca dosificado como 6:1:3 relación (p/p/p) alcanzaron los 306 °C (Ramesh & Radhakrishnan, 2019); en cambio para un biopolímero de PVA con Nanofibras de celulosa de cáscara de patata 3:2 relación (p/p) su degradación máxima fue a los 354,5 °C (Ramesh & Radhakrishnan, 2020).

Se determinó que la celulosa aumenta la resistencia de degradación térmica del biopolímeros compuesto por PVA, lo mismo se ha informado en otros estudios (Ghorbel et al., 2019; Liu et al., 2013; Okahisa et al., 2020). Así mismo, se comprobó que el biopolímero estudiado tiene propiedades de degradación superior a la de otros biocompuestos, a saber, mayor a películas de PVA puro que se degrada a 200-280 °C (Sanders et al., 2019; Xiao et al., 2016), películas de goma gellan reforzada con nanocelulosa de cáscara de piña a 243° (Dai et al., 2018), películas de goma de tara reforzada con nanocristales de celulosa a $\approx 295^{\circ}\text{C}$ (Ma et al., 2016), o a películas a base de almidón de yuca reforzado con cascarilla de soya y glicerol cuya degradación se informó a 322° C (Merci et al., 2019).

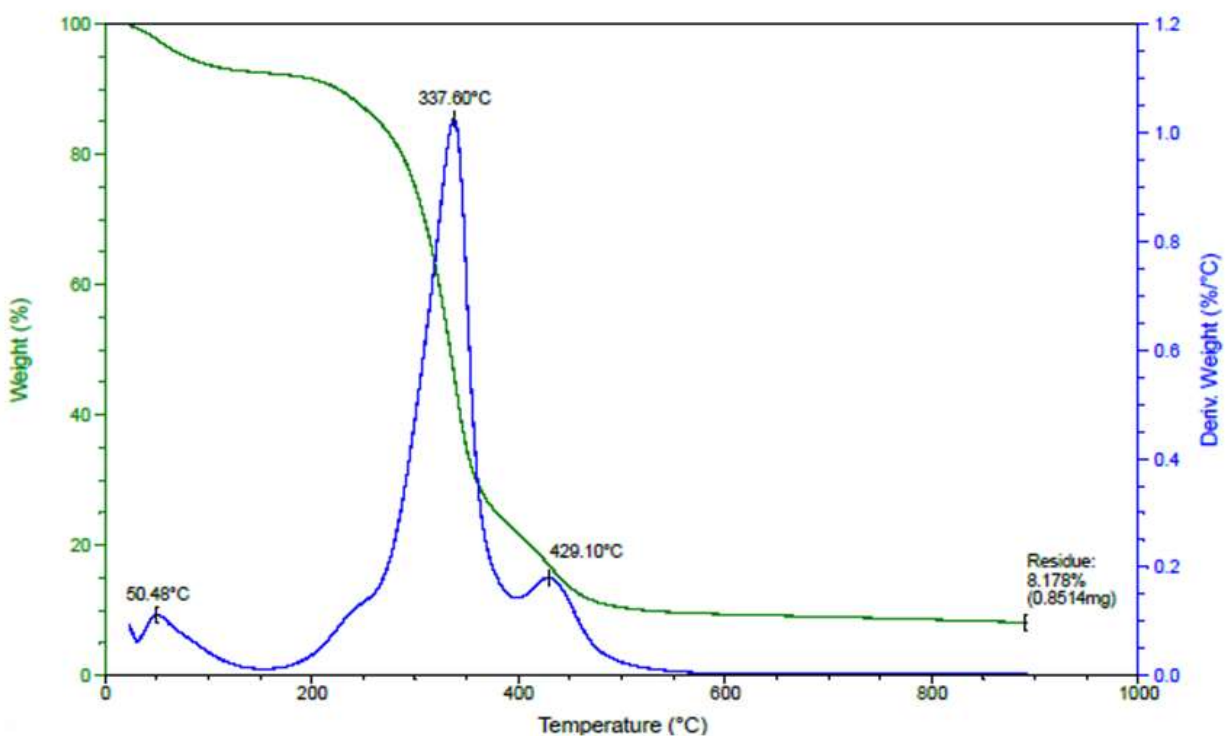


Figura 20. Análisis Termogravimétrico del biopolímero. *Fuente* (Autores, 2022).

4.3.4. Análisis DSC

Las curvas DSC de la celulosa y biopolímero se indican en las Figuras 21 y 22 respectivamente para el análisis se utilizó 9 mg de muestra para un que se calentó desde -95 hasta 300 °C, re realizo dos ciclos de calentamiento para cada muestra.

El comportamiento térmico de la celulosa indica tres picos obtenidos en el primer ciclo (figura 20). Se identificó que la temperatura de transición vítrea (T_g) para celulosa fue aproximadamente a los 50° C y el pico exotérmico identificado a 121,10 °C se atribuye a la perdida de humedad contenida (Giordano et al., 2021; Picker & Hoag, 2002). También se detectó dos picos exotérmicos en la región entre 200 a 350 °C. Esta transición se puede atribuir a la descomposición térmica de la celulosa de rastrojo de maíz (M. I. G. Miranda et al., 2013).

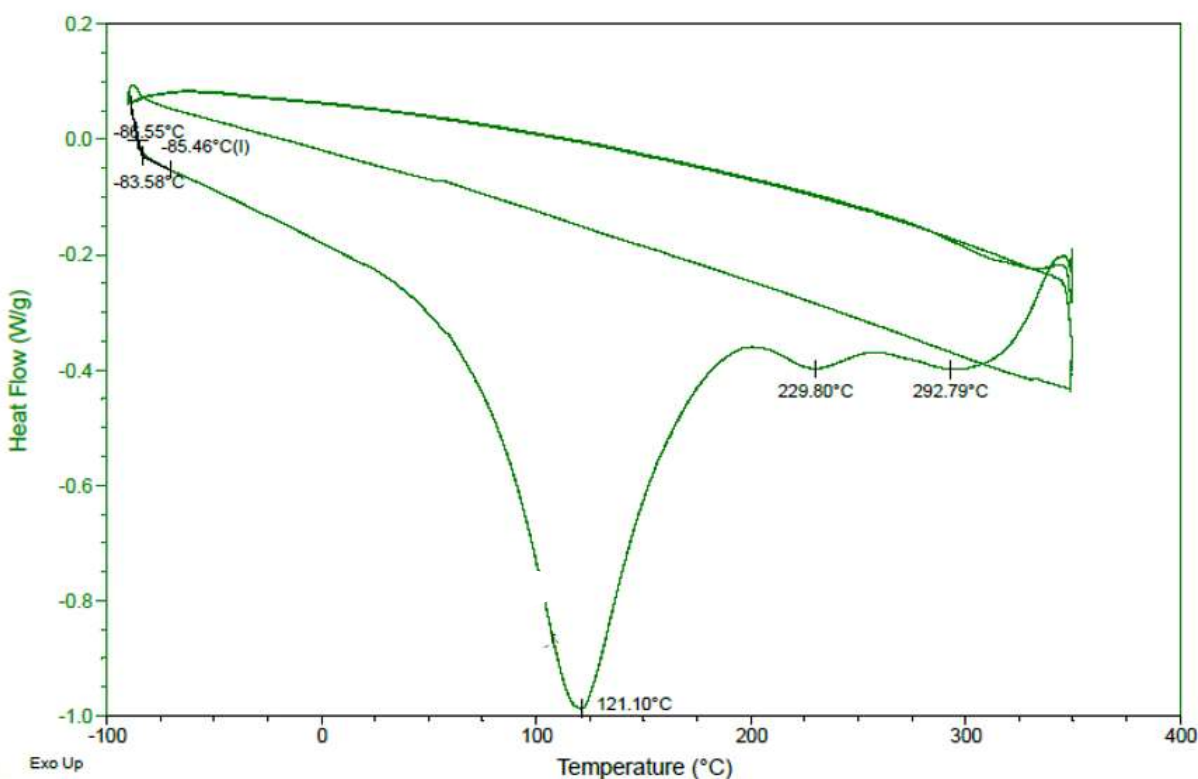


Figura 21. Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido de la celulosa. **Fuente** (Autores, 2022).

En la Figura 22 se presenta el termograma DSC del biopolímero que exhibió tres curvas endotérmicas, la primera relativamente grandes cuyo pico alcanza a 126,59 °C se atribuye a la pérdida de agua contenida en el biopolímero (Voronova et al., 2015). El fenómeno de transición vítrea y la despolimerización de los compuestos ocurren en la región entre 200 a 300 °C. (Cazón et al., 2019; Meng et al., 2018). Los picos entre la región 200 y 300 °C corresponden a la transición de temperatura de fusión (T_m) del PVA (Asad et al., 2018). Como indicaron otros autores: 210,08 °C para una película de PVA con CNF de palma así (Okahisa et al., 2020); 225,4 °C para una película de PVA reforzada con 5% de lignosulfonato (Ye et al., 2016); 222,11 °C para películas de

PVA reforzadas con 5 % de celulosa Kraft (Lu et al., 2008) y 280 °C para un compuesto de PVA con CNF de nuez de areca (Ramesh & Radhakrishnan, 2020).

Finalmente la T_m máxima del biopolímero se da a 315,99 °C, valor cercano a lo informado por Arun et al. (2022) que analizaron biocompuestos de PVA reforzado con CNF de cáscara de coco y cuya T_m fue a 306 °C.

En la Figura 22 se observa que la biopelícula no vuelve a cristalizarse al enfriarse, como se muestra en el segundo ciclo de calentamiento, por lo que se identifica que la película tiene características amorfas al no presentar el mismo comportamiento endotérmico como en el primer barrido.

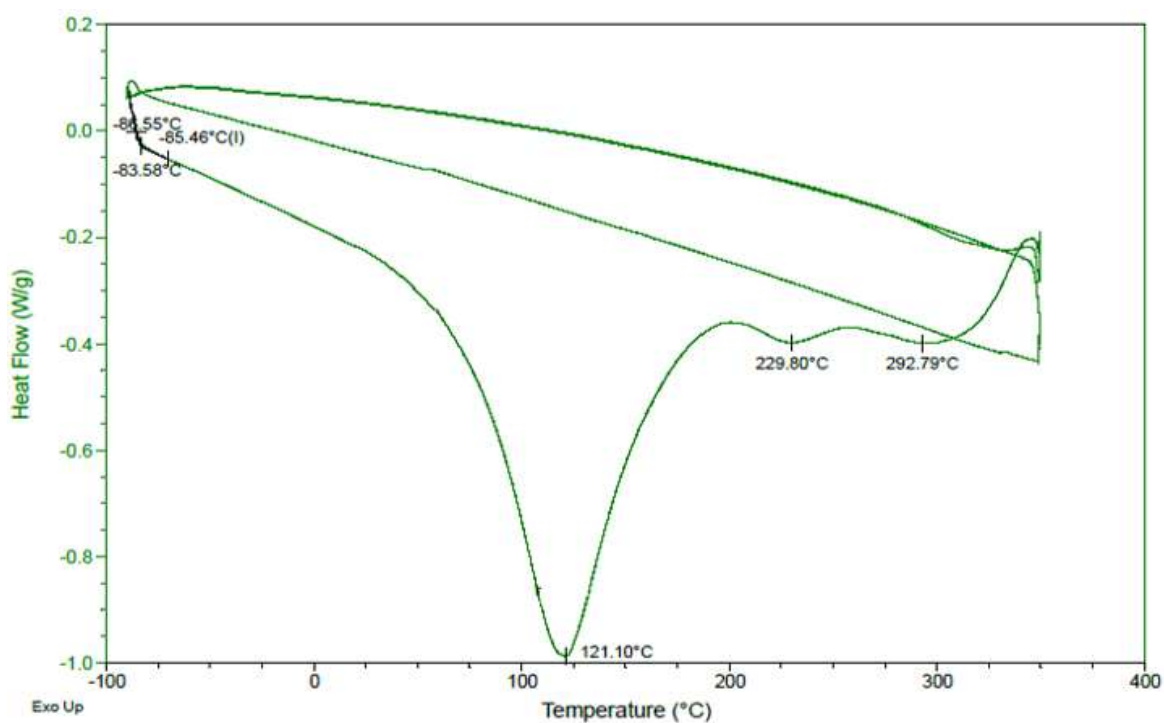


Figure 22. Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido del biopolímero. **Fuente** (Autores, 2022).

4.3.5. Análisis de propiedades mecánicas

Para en análisis de las propiedades mecánicas previamente se crearon probetas a partir de la muestra M33 como se muestra en la Figura 23. Se obtuvo una deformación máxima del $31,21 \pm 3,18\%$, el módulo elástico estuvo en $42,32 \pm 6,325$ MPa y la resistencia a la tensión T_s fue de $6,27 \pm 0,275$ MPa, valor que coincide con otros biopolímeros (Arun et al., 2022; Carmona & Colorado Lopera, 2022). Sin embargo, hay materiales con menor y mayor resistencia a la tensión, y de diferente módulo elástico. En la Tabla 5 se presenta un resumen comparativo.

Tabla 5. Propiedades mecánicas de diferentes compuestos biodegradables.

Composición del biopolímero	Resistencia a la tensión (MPa)	Módulo elástico (MPa)	Referencia
Zeína de maíz/nanopartículas de quitosano/aceite esencial de canela y glicerina	0,95-2,15	40,6-20,15	(Vahedikia et al., 2019)
Nano fibras de celulosa de cáscara de coco/PVA	2,56-6,72	-	(Arun et al., 2022)
Nano celulosa de cáscara de patata/PVA / quitosano	4,667-4,852	31-140	(Ramesh & Radhakrishnan, 2019)
Celulosa de rastrojo de maíz y PVA	$6,27 \pm 0,275$	$42,32 \pm 6,325$	Presente estudio
Luffa Cylindrica y etileno acetato de vinilo (EVA)	5-8,6	-	(Carmona & Colorado Lopera, 2022)
CNP/alcohol polivinílico y aceite esencial.	11,49	118,21	(Jancy et al., 2020)
Celulosa regenerada y PVA	17,57	19,8	(Cazón et al., 2020)
Nanofibras de celulosa derivadas de la palma de aceite y PVA	82-210	-	(Okahisa et al., 2020)

Nota: - Dato no medido y/o reportado en la bibliografía citada.

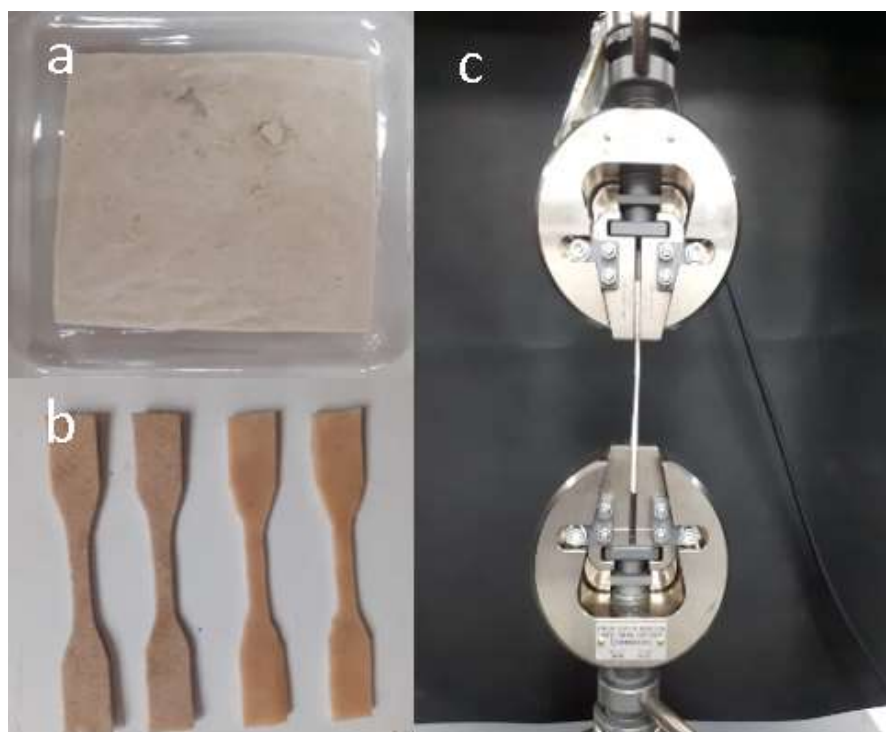


Figure 23. Ensayo de tracción al biopolímero. **Fuente** (Autores, 2022).

Nota: (a) biopolímero; (b) probetas de biopolímero y (c) ensayo mecánico de tracción.

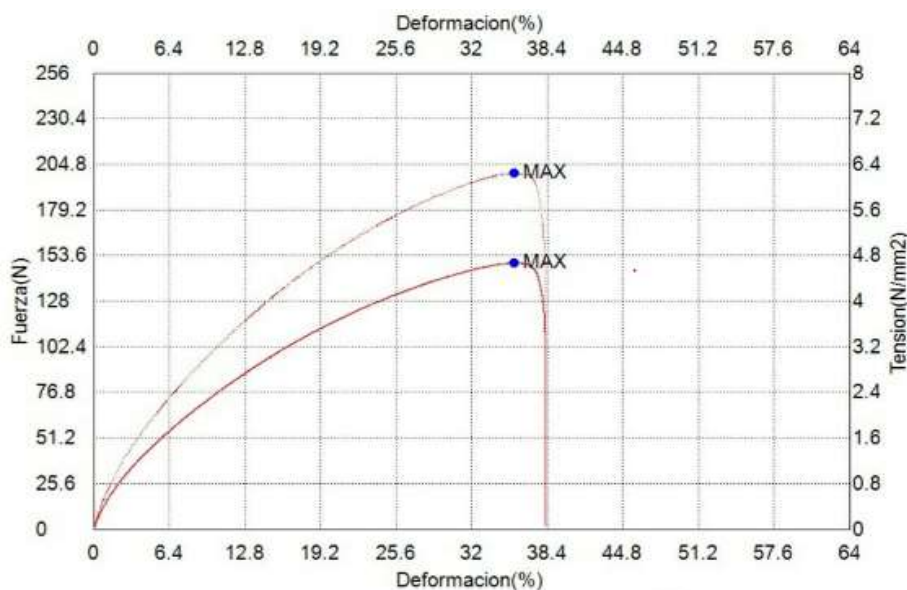


Figura 24. Grafica de prueba mecánica de tracción al biopolímero. **Fuente** (Autores, 2022).

La dureza se midió en tres muestras del film, se tomaron cinco medidas a cada muestra, los datos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos de dureza de las tres muestras del film.

Muestra	Dureza (Shore A)
M1	$33,4 \pm 1,67$
M2	$31,8 \pm 1,48$
M3	$33,2 \pm 1,79$
Media	$32,8 \pm 1,69$

De acuerdo a Recreus Industries, (2021) el rango de dureza SHORE A del biopolímero es de 32,8 por lo que se encuentra dentro de la escala de suave.

4.4. Estudio de biodegradación

Se enterró nueve muestras del biopolímero, en recipientes como se muestra en la Figura 25 se utilizó suelo de jardín que tenía en promedio 45% de humedad, los recipientes se dejaron a la intemperie durante el periodo de análisis (17 días). Para calcular la tasa de biodegradación se tomaron mediadas al inicio, luego a los 5, 10, 15 y 17 días. Antes de pesar las muestras se lavaron

con agua destilada y se secaron a 70° C durante 24 horas. Se calculó en peso para cada muestra y volvieron a ser enterradas en el recipiente. La tasa de degradación del biopolímero fue de $27,79 \pm 3,535$ a los 17 días valor concuerda con lo obtenido por Abdullah & Dong, (2019) que indicaron una degradación del 25 y 35% de un biopolímero a las dos primeras semanas. También se proyectó la degradación total que se daría aproximadamente los 40 días (ver Tabla 7). La degradación total es similar a lo obtenido por Arun et al.(2022) que informó una degradación del 91% a los 45 días. Sin embargo, se ha informado de polímeros que se degradan más rápido, aproximadamente a los 20 días (Pesántes & Alberca, 2021; Ramesh & Radhakrishnan, 2019).



Figura 25. Muestras para el análisis de biodegradación del biopolímero. **Fuente** (Autores, 2022).

Tabla 7. Biodegradación del biopolímero.

Tiempo (días)	TB (%)
0	0
5	$6,54 \pm 1,648$
10	$12,69 \pm 2,742$
15	$25,54 \pm 3,560$
17	$27,79 \pm 3,535$
25*	$50,56 \pm 0,076$
35*	$83,58 \pm 0,076$
39,28*	$100 \pm 0,076$

Nota: *valor estimado a partir de los resultados experimentales obtenidos hasta el día 17

El comportamiento de degradación del biopolímero grafica de tendencia y fotografías se presentan en las Figuras 26 y 27 respectivamente.

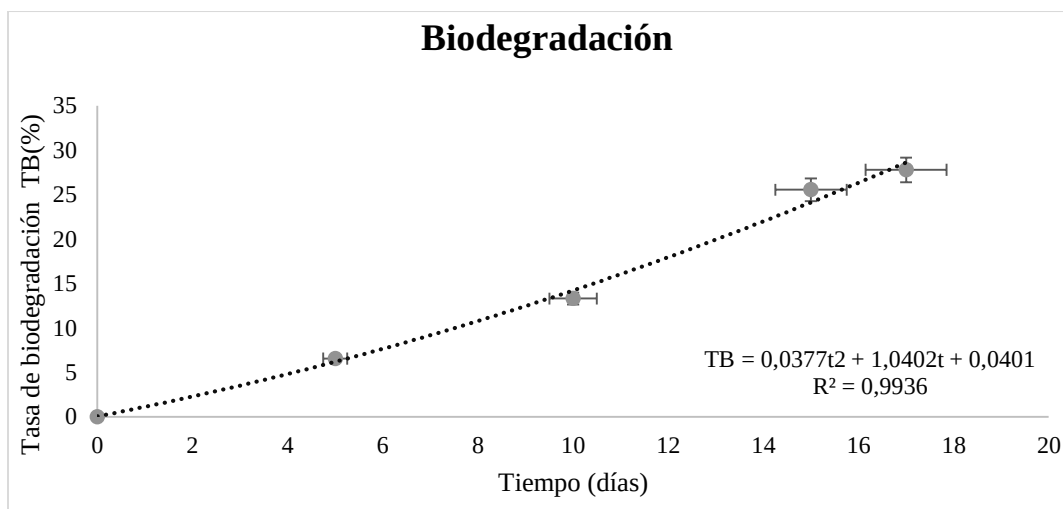


Figura 26. Biodegradación del biopolímero. *Fuente* (Autores, 2022).

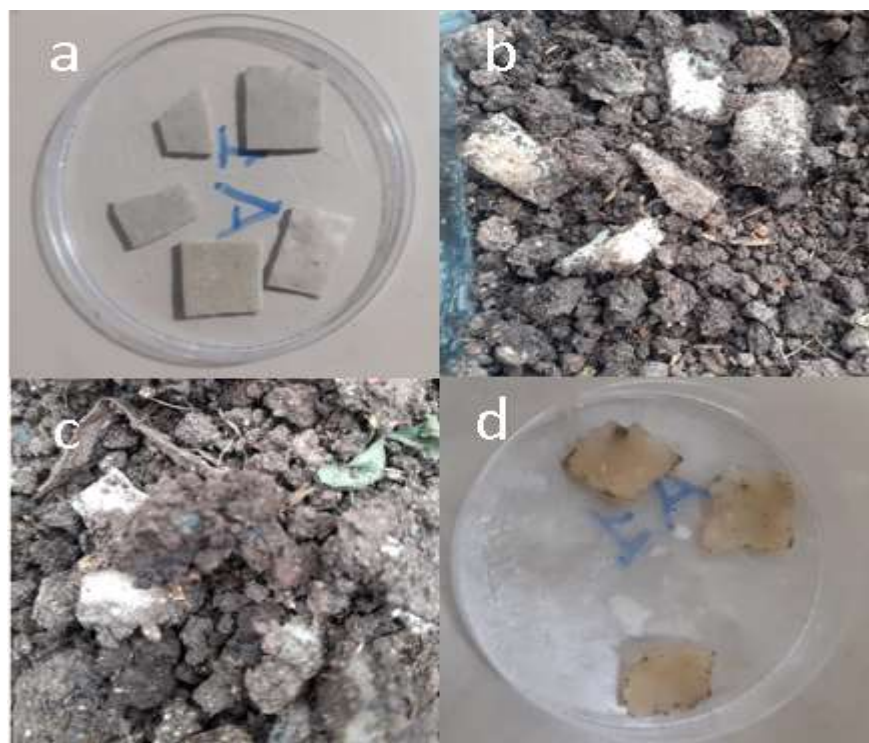


Figura 27. Biodegradación del biopolímero. *Fuente* (Autores, 2022).

Nota: Se presenta: (a) biopolímero día 0; (b) biopolímero día 5; (c) biopolímero día 15 y (d) biopolímero día 17.

4.5. Estudio de producción

4.5.1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la celulosa

El diagrama de flujo que se presenta abarca el proceso para obtención de la celulosa a partir del rastrojo de maíz.

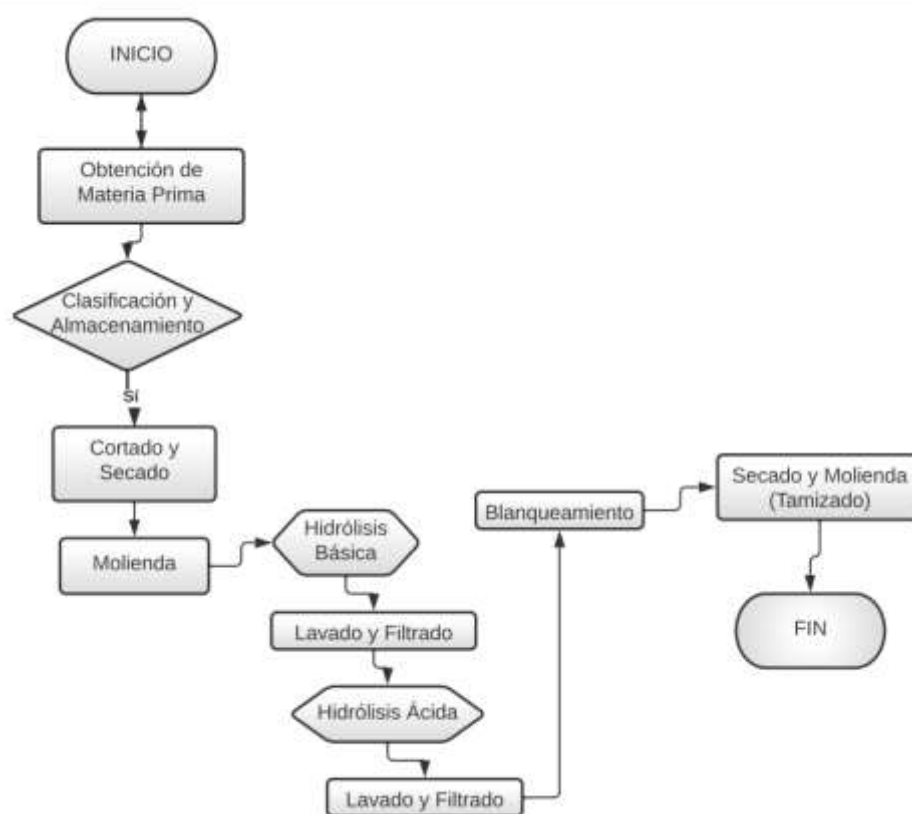


Figura 28. Diagrama de flujo para la obtención de la celulosa. **Fuente** (Autores, 2022).

4.5.1.1.Descripción del proceso de obtención de celulosa

Obtención de la materia prima

La materia prima que se emplea dentro del proceso productivo es el rastrojo de maíz, el mismo que se obtiene de sembríos de pequeños agricultores.

Clasificación y Almacenamiento

La materia prima se clasifica para lograr una mejor producción y no exista obstrucciones en el proceso productivo. El almacenamiento será en contenedores metálicos para mantener en un ambiente donde no adquiera humedad.

Cortado y Secado

En este proceso la materia prima se corta en trozos, para realizar la colocación en el Horno industrial de la planta, la misma que tendrá un tiempo de secado de 2 horas.

Molienda

La materia prima previamente seca se introduce en el Molino industrial, obteniendo el rastrojo de maíz de una forma más ligera y granulada para proceder a los siguientes procesos productivos de obtención de la celulosa.

Hidrólisis Básica y ácida

En esta etapa la materia prima se somete al proceso de hidrólisis básica y ácida con el objetivo de eliminar impurezas del rastrojo de maíz para obtener la pulpa de celulosa, el proceso se lleva a cabo en un tanque de agitación con calentamiento.

Blanqueamiento

En este proceso la pulpa de celulosa es blanqueada con Hipoclorito de Sodio, el mismo que realiza en el tanque de agitación con calentamiento por un tiempo de 30 minutos hasta el punto de ebullición.

Secado y Molienda

La pulpa se procede a secar y moler para adquirir en forma de harina de color blanco que se aprovechara para la elaboración de las dosificaciones para el biopolímero.

4.5.1.2. Diagrama de flujo del proceso productivo del Biopolímero

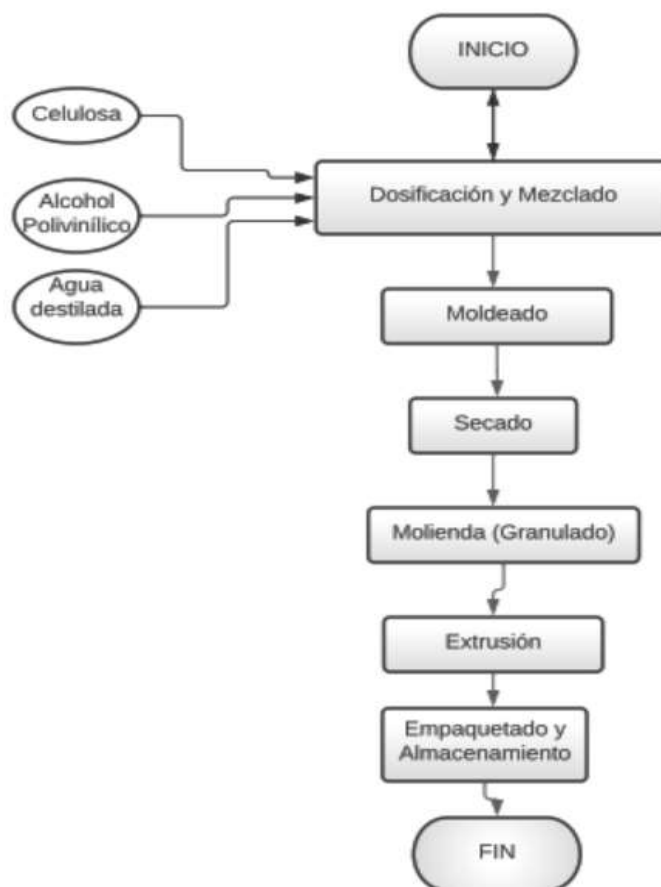


Figura 29. Diagrama de flujo del proceso productivo del biopolímero. **Fuente** (Autores, 2022).

4.5.1.2.1. Descripción del proceso de obtención del Biopolímero

Dosificación y Mezclado

Este proceso establece las proporciones adecuadas de cada uno de los tres componentes que contiene el biopolímero y se mezcla hasta lograr una apropiada homogenización.

Moldeado

La fase de moldeado tiene como finalidad dar forma a la pasta proveniente de la homogenización, el mismo que se optó por una forma cuadra o rectangular.

Secado

En esta etapa los moldes son colocados de una manera ordenada en el Horno industrial para obtener el biopolímero deseado.

Molienda

En el proceso de molienda el Biopolímero tiene como finalidad obtener el producto de una forma granulada, para proceder al proceso de la elaboración del film.

Extrusión

El biopolímero granulado se coloca en la maquina extrusora aplicando presión, fusión, moldeado y empuje del material para la fabricación de productos plásticos.

Empaquetado y Almacenamiento

Finalmente, el producto obtenido es empaquetado de una manera adecuado para conservar su estado y es previamente almacenado para posteriormente su entrega.

4.5.2. Disponibilidad de materia prima

Mediante el software ArpMap 10,6 se obtuvo que el área de estudio de los cinco sembríos considerados para este análisis, el área es de 3025,3 m² (0,3 hectáreas) de cultivo de maíz (figura 30). La producción media de rastrojo de maíz es de 0,358 kg de rastrojo de maíz/m², que se obtuvo a partir de diez mediciones (Tabla 8) in situ y la producción anual de materia prima disponible, es de aproximadamente 1075,09 kg/año (107,5 TM/año) de rastrojo de maíz.

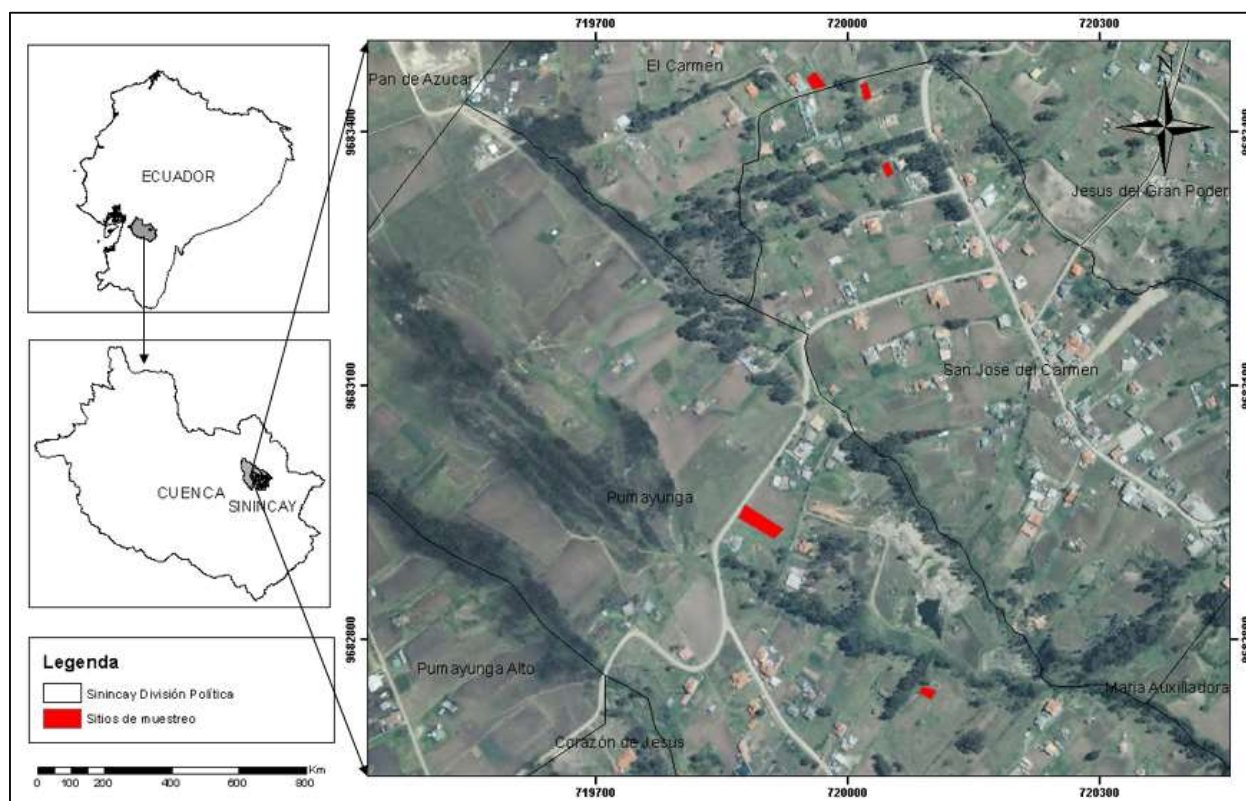


Figure 30. Mapa de delimitación del área de obtención de la materia prima. **Fuente** (Autores, 2022).

Tabla 8. Producción de rastrojo de maíz.

Sitio de muestreo	Producción (kg/m ²)
S1	0,310 ± 0,015
S2	0,310 ± 0,029
S3	0,344 ± 0,061
S4	0,377 ± 0,037
S5	0,405 ± 0,032
Media	0,358 ± 0,044

Nota: Se indica la media ± DS, el n=2 de cada grupo

4.6. Estudio económico

4.6.1. Costos de producción

Son los recursos disponibles en la planta de producción con el objetivo de elaborar el producto final, los mimos que se clasifican en directos e indirectos.

4.6.1.1.Costos Directos

Los costos directos son los gastos que influyen en la producción de un determinado producto, los mismo que son detallados a continuación (Tabla 9).

Tabla 9. Costos directos a la producción.

Costos Directos (100 kg Biopolímero)				
Concepto	Cantidad	Unidad	Costo/Unidad	Costo Total
Rastrojo	57,13	kg	\$0,06	\$3,20
Hidróxido de sodio	11,66	kg	\$4,40	\$51,28
Ácido sulfúrico	16,45	L	\$10,57	\$173,88
Hipoclorito de sodio	71,42	L	\$0,19	\$13,57
Agua (L)	14283,10	L	\$0,00	\$10,28
Alcohol polivinílico	34,97	kg	\$8,00	\$279,72
Agua Destilada (ml)	349,65	L	\$0,00072	\$0,25
TOTAL				\$532,18

4.6.1.2.Costos Indirectos

Los costos indirectos son lo que se derivan de los recursos que se emplea para la producción del producto final.

Tabla 10. Costos Indirectos a la producción.

Costos Indirectos				
Producto	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio
Etiquetas	ciento	100	\$0,05	\$5,00

Total mensual	\$5,00
Total anual	\$60,00

Tabla 11. Costos indirectos de fabricación.

Costos Indirectos de fabricación	
Concepto	Costo
Consumo de energía	\$276,59
Consumo de agua	\$45,00
Alquiler	\$800,00
Total mensual	\$1.121,59
Total anual	\$13.459,08

4.6.1.3.Mano de Obra

Se enfoca en el factor humano para poder ejecutar los procesos de producción dentro de la planta, el cual consta de 4 trabajadores y 2 trabajadores de mano de obra indirecta.

Tabla 12. Mano de obra Directa.

Mano de Obra Directa						
Actividades	Trabajadores	Cargo	Horas laboradas diarias	Horas laboradas mensuales	Costo / Hora	Valor Sueldo Mensual
Recolección Almacenamiento Secado Molienda	1	Operario de maquina	6	120	\$2,53	\$303,57
Hidrolisis 1 Filtrado y lavado Hidrolisis 2 Filtrado y lavado	2	Operario de maquina	5	100	\$2,53	\$505,95

Blanqueamiento						
Filtrado y lavado						
Secado	1	Operario	1,75	35	\$2,53	\$88,54
Molienda		de				
Dosificación		maquina				
Total mensual						\$898,07
Total anual						\$10.776,79

4.6.2. Gastos

Los gastos dentro de la planta nos permiten cumplir con las actividades planteadas dentro del proceso de fabricación.

4.6.2.1. Gastos de inversión de maquinaria

Tabla 13. Inversión de maquinaria.

Inversión en maquinaria					
Proceso	Equipo	Marca	Capacidad	Catalogo	Costo
Secado	Horno	Memmert UF1060	300 kg	F. técnica 1.	\$1.600,00
Molienda	Molino	Molino MMX- 32	31,8 kg/min	F. técnica 2.	\$380,00
Hidrolisis			10000 L	F. técnica 3.	\$1.200,00
Blanqueamiento	Tanque con agitación y calentamiento	KAIQUAN			
Lavado	Destilador	NANBEI	>50 L/h	F. técnica 4.	\$2.154,00

Filtrado	Coladores	-	-	F. técnica 5.	\$10,50
Fabricación film	Extrusora	SJSZ51	500	F. técnica 6.	\$13.000,00
			PCS/año		
	Banda de transporte	BestEquip	80 Kg	F. técnica 7.	\$550,00
Total de costo					\$18.894,50

Nota. El catálogo de la maquinaria requerida se puede observar en el Apéndice B

4.6.2.2. Gastos Administrativos

Tabla 14. Gastos administrativos.

Gastos administrativos	Valor mensual	Valor anual
Salario administrativo	\$15.425,00	\$23.100,00
Salario del personal	\$898,07	\$10.776,79
Suministros de oficina	\$20,80	\$249,60
Consumo de energía	\$276,59	\$3.319,08
Consumo de agua	\$45,00	\$540,00
Total	\$16.665,46	\$37.985,46

4.6.2.3. Gastos financieros

El gasto financiero nos permite integrar un recurso económico ofrecido por personas externas, con el objetivo de impulsar la actividad económica de la planta productora de biopolímeros.

El crédito financiero está establecido según el interés del BanEcuador, (2022), por lo que brinda tasas de interés de créditos más bajo en términos de emprendimiento de microempresas (Apéndice C).

Tabla 15. Datos del crédito financiero.

Capital	\$20.000,00
Interés	11,50%
Vencimiento del Crédito	3 años
Pagos	MENSUAL

4.6.3. Flujo de caja

Se analizó los egresos e ingresos aproximados para la producción de Biopolímeros, además se obtuvo el precio de venta y se estableció el margen de ganancia.

Tabla 16. Estimación del precio de venta y margen de ganancia para 100 kg.

Producto	Precio de costo	Precio de venta	Ganancia o utilidad	Ganancia o utilidad %
Biopolímero	575,206	719,01	143,801	20,00%

Nota. La capacidad de fabricación de la planta está estimada para 550 kg diarios, por lo que su producción mensual sería de 11000 kg de biopolímero.

En la Tabla 17, se detalla los egresos generados en la planta de producción de biopolímeros en las cuales se consideraron otros en lo que respecta a utilidades de los trabajadores.

Tabla 17. Egresos totales para la producción mensual de la planta.

Concepto	Costos
Materia prima	\$58.539,97

Salario del Personal	\$898,07
Salario del Personal A	\$15.425,00
Alquiler	\$800,00
Consumo de agua	\$45,00
Consumo de energía	\$276,59
Crédito financiero	\$654,77
Suministros de oficina	\$20,80
Mantenimiento	\$220,00
Otros	\$119,79
Total mensual	\$76.999,98
Total anual	\$923.999,80

A continuación, en la Tabla 18 se detalla los ingresos de venta según el margen de ganancia establecido del 20%.

Tabla 18. Ingresos totales.

Ingresos de venta	
Mensual	\$79.090,78
Anual	\$949.089,38

Tabla 19. Estimación de flujo de caja.

Flujo de caja	
Año 1.	\$25.089,58

4.6.4. Cálculo del VAN

Para obtener el VAN, se aplicó la siguiente formula:

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{c_n}{(1+i)^n}$$

$$VAN = -20.000 + \sum_{i=1}^1 \frac{25.089,58}{(1+10\%)^1}$$

$VAN = 2808,71$ dólares el proyecto es rentable

4.6.5. Calculo de la Tasa Interna de Retorno

Para obtener el cálculo del TIR, se empleó la siguiente formula:

$$TIR = 0 = \sum_{i=0}^N \frac{CF_i}{(1+k)^i}$$

$$TIR = 0 = \sum_{i=0}^1 \frac{25.089,58}{(1+25,44\%)^1}$$

$$TIR = 0 = 0,015$$

El TIR es de 25,44%.

4.6.6. Análisis

El precio de venta del Biopolímero obtenido a partir de rastrojo de maíz, según el estudio económico analizado que se detalla a continuación (tabla 20):

Tabla 20. Precio de venta del biopolímero.

Precio de venta del Biopolímero de rastrojo de maíz	
1 kg	\$5,75

Según otras fuentes los precios de los polímeros común y biopolímeros son los siguientes:

Tabla 21. Precio del polímero común.

Polímero común	Costo	Referencia
	1,55	
	1,92	Fábrica Alibaba
1 kg	1,364	Fábrica
	1,356	AliExpress
	1,70	Fábrica Ocompra
Valor Promedio	1,58	

Tabla 22. Precio de otros biopolímeros.

Película de Biopolímero	Costo	Referencia
	3	Fabrica
	2,08	Alibaba
1 Kg	2,72	
	2,5	
	2,15	Fabrica
		Aliexpress
Valor Promedio	2,49	

El biopolímero de rastrojo de maíz posee un precio de venta mayor con lo que respecta al polímero común y otros biopolímeros que se ofertan actualmente en el mercado. El precio del biopolímero está directamente influenciado por el costo de materiales directos en su proceso de producción, motivo por lo que incrementa su precio de venta con respecto a otros biopolímeros, como por ejemplo la utilización de ácido sulfúrico en el proceso de extracción de celulosa y el alcohol polivinílico en el proceso de dosificaciones el mismo que refleja un costo representativo.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Se determinó que el rastrojo de maíz está compuesto por $42,57 \pm 1,12\%$ celulosa, $7,15 \pm 0,81\%$ lignina y $50,28 \pm 1,31\%$ hemicelulosa mas otros componentes. Por otro lado, la prueba de yodo lugol permitió determinar que el rastrojo de maíz no contiene almidón, por lo cual la investigación se enfocó en el aislamiento de celulosa.

Se obtuvo celulosa mediante los cuatro métodos ensayados de los cuales el método AD2 fue el más eficiente con un rendimiento de 31,20%. Sin embargo, el método que resulta más beneficioso considerando aspectos económicos es el AC2 con el que se logró un rendimiento del 30,6% dicho valor no represento diferencias significativas en comparación a los otros métodos de acuerdo al análisis de medias Tukey.

Combinar un polímero natural (celulosa) con una matriz polimérica (PVA) como plastificante, resulto muy eficiente, pues fue posible crear biopelículas a partir de estos componentes. La dosificación M33 mostro mejores resultados en el análisis cualitativo donde obtuvo un valor de ponderación de 16.

El biopolímero analizado presenta buenas características fisicoquímicas y termomecánicas. La temperatura de fusión y degradación máxima fueron de $315,99\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $337,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente, datos obtenidos mediante los análisis TGA y DSC. En cuanto a las características mecánicas posee una resistencia a la tensión de $6,27 \pm 0,275\text{ MPa}$, un módulo elástico de $42,32 \pm 6,325\text{ MPa}$ y una dureza de $32,8 \pm 1,69\text{ Shore A}$. Finalmente, la tasa de degradación del biopolímero fue de $27,79 \pm 3,535\%$ a los 17 días y se estimó una degradación total a los 40 días aproximadamente.

Mediante el análisis de los indicadores de factibilidad económica VAN y TIR que fueron de \$ 2808,71 dólares y 25,44% respectivamente. Se concluye que una empresa destinada a la obtención de celulosa y fabricación de film es rentable, considerando un margen de beneficio del

20%. Sin embargo, el precio de venta del biopolímero obtenido es mayor en comparación a otros polímeros y biopolímeros ofertados en el mercado.

Los Biopolímeros creados a partir de celulosa son una alternativa viable para la creación de nuevos biomateriales, que remplacen a los polímeros de origen pétreo con la finalidad de minimizar el impacto ambiental que ocasiona la contaminación plástica.

Se recomienda realizar futuras investigaciones que optimice el proceso de aislamiento de celulosa, para lograr mejores rendimientos. Así mismo, se recomienda estudiar nuevas dosificaciones para obtener un biopolímero con características más óptimas que cubran las necesidades demandadas actualmente.

6. Referencias

- Abdolrahimi, M., Seifi, M., & Ramezanzadeh, M. H. (2018). Study the effect of acetic acid on structural, optical and mechanical properties of PVA/chitosan/MWCNT films. *Chinese Journal of Physics*, 56(1), 221–230. <https://doi.org/10.1016/J.CJPH.2017.12.018>
- Abdullah, Z. W., & Dong, Y. (2019). Biodegradable and water resistant poly(vinyl) alcohol (PVA)/starch (ST)/glycerol (GL)/halloysite nanotube (HNT) nanocomposite films for sustainable food packaging. *Frontiers in Materials*, 6, 58. <https://doi.org/10.3389/FMATS.2019.00058/BIBTEX>
- Amaya, J. (2021). Uso de desechos orgánicos provenientes del sector bananero de la ciudad de Machala para la obtención de biocombustibles. In T. Vilorio & E. Vázquez (Eds.), *Alejando el umbral del desequilibrio ambiental* (pp. 65–92). Abya-Yala.
- Andini, A., Bonnet, S., Rousset, P., & Hasanudin, U. (2018). Impact of open burning of crop residues on air pollution and climate change in Indonesia. *Current Science*, 115(12), 2259–2266. <https://doi.org/10.18520/CS/V115/I12/2259-2266>

- Aradi, A., Chin, N., Ishak, N., Mohamad, N., Kadota, K., Mnaf, Y., & Yusof, Y. (2021). Effect of Sodium Hypochlorite Concentration during Pre-treatment on Isolation of Nanocrystalline Cellulose from *Leucaena leucocephala* (Lam.) Mature Pods | Aridi | BioResources. *BioResources*, 16(2), 3137–3158.
- Arun, R., Shruthy, R., Preetha, R., & Sreejit, V. (2022). Biodegradable nano composite reinforced with cellulose nano fiber from coconut industry waste for replacing synthetic plastic food packaging. *Chemosphere*, 291, 132786. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132786>
- Asad, M., Saba, N., Asiri, A. M., Jawaidd, M., Indarti, E., & Wanrosli, W. D. (2018). Preparation and characterization of nanocomposite films from oil palm pulp nanocellulose/poly (Vinyl alcohol) by casting method. *Carbohydrate Polymers*, 191, 103–111. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2018.03.015>
- Asamblea Nacional. (2020). *Ley Orgánica para la Racionalización Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso, Registro Oficial N° 354, 21 de diciembre de 2020.*
- ASTM D2240. (2017). *Método de prueba estándar para las propiedades del caucho: dureza del durómetro.*
- ASTM D638. (2017). *Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.*
- Aurelia, C., Murdiati, A., . S., & Ningrum, A. (2019). Effect of Sodium Hydroxide and Sodium Hypochlorite on the Physicochemical Characteristics of Jack Bean Skin (*Canavalia ensiformis*). *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(2), 193–200. <https://doi.org/10.3923/PJN.2019.193.200>
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. A. (2020). Obtención

de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1).

Bajpai, P. (2019). Background and introduction. In *Biobased Polymers* (pp. 1–12). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818404-2.00001-1>

Bajwa, D. S., Pourhashem, G., Ullah, A. H., & Bajwa, S. G. (2019). A concise review of current lignin production, applications, products and their environment impact. *Industrial Crops and Products*, 139, 111526. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111526>

BanEcuador. (2022). *Productos y servicios financieros con enfoque de responsabilidad social - BanEcuador*. <https://www.banecuador.fin.ec/>

Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J., & Gerdts, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*, 5(8).

https://doi.org/10.1126/SCIADV.AAX1157/SUPPL_FILE/AAX1157_TABLE_S4.XLSX

Bernhardt, D. C., Ponce, N. M. A., Basanta, M. F., Stortz, C. A., & Rojas, A. M. (2019). Husks of *Zea mays* as a potential source of biopolymers for food additives and materials' development. *Heliyon*, 5(3), e01313. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2019.E01313>

Böll, H. (2019). El Atlas del Plástico. In K. Schächtele (Ed.), *Fundación Heinrich Böll San Salvador*. Fundación Heinrich Böll San Salvador.

Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M., & Sukumaran, S. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*, 368(6496), 1257–1260.
https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAZ5819/SUPPL_FILE/AAZ5819_DATAS4.XLSX

Calva, C. (2018). *Amonificación de rastrojo de maíz (Zea mays) con dos leguminosas zarandaja (Dolichos lablab) y frijol canavalia (Canavalia ensiformis)*. (Tesis de grado) Universidad

Nacional de Loja.

Calvillo Cerda. (2011). *"SISTEMATIZACIÓN CUALITATIVA DE LAS RELACIONES ESTRUCTURA PROPIEDADES Y CONDICIONES DE PROCESAMIENTO EN MATERIALES PRESENTA: UBALDO MATEO CALVILLO CERDA 0.*

Carmona, A. R., & Colorado Lopera, H. A. (2022). A new composite made from *Luffa Cylindrica* and ethylene vinyl acetate (EVA): Mechanical and structural characterization for its use as Mouthguard (MG). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 126, 105064. <https://doi.org/10.1016/J.JMBBM.2021.105064>

Cazón, P., Velazquez, G., & Vázquez, M. (2019). Novel composite films from regenerated cellulose-glycerol-polyvinyl alcohol: Mechanical and barrier properties. *Food Hydrocolloids*, 89, 481–491. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.11.012>

Cazón, P., Velázquez, G., & Vázquez, M. (2020). Regenerated cellulose films combined with glycerol and polyvinyl alcohol: Effect of moisture content on the physical properties. *Food Hydrocolloids*, 103, 105657. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.105657>

Cheng, K., Winter, W. T., & Stipanovic, A. J. (2012). A modulated-TGA approach to the kinetics of lignocellulosic biomass pyrolysis/combustion. *Polymer Degradation and Stability*, 97(9), 1606–1615. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2012.06.027>

Comisión para la Cooperación Ambiental. (2014). *La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas.*

Cordier, M., & Uehara, T. (2019). How much innovation is needed to protect the ocean from plastic contamination? *Science of the Total Environment*, 670, 789–799. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.258>

Cordier, M., Uehara, T., Baztan, J., Jorgensen, B., & Yan, H. (2021). Plastic pollution and

- economic growth: The influence of corruption and lack of education. *Ecological Economics*, 182, 106930. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106930>
- Cornejo Reyes, G. V., Marinero Orantes, E. A., Funes Guadrón, C., Toruño, P. J., & Zúniga-González, C. A. (2020). Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6, 2020. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9824>
- Costa, L. A. S., Assis, D. de J., Gomes, G. V. P., Da Silva, J. B. A., Fonsêca, A. F., & Druzian, J. I. (2015). Extraction and Characterization of Nanocellulose from Corn Stover. *Materials Today: Proceedings*, 2(1), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.04.045>
- Cuervo, W. A., & Gutiérrez, E. M. (2018). Fracciones químicas del maíz (zea maíz) sometido a procesos sucesivos de ensilaje y amonificación utilizado en la alimentación de bovinos en tame arauca. *Agricolae & Habitat*, 1(1). <https://doi.org/10.22490/26653176.2340>
- Dai, H., Ou, S., Huang, Y., & Huang, H. (2018). Utilization of pineapple peel for production of nanocellulose and film application. *Cellulose*, 25(3), 1743–1756. <https://doi.org/10.1007/S10570-018-1671-0/FIGURES/5>
- Davison, B. H., Parks, J., Davis, M. F., & Donohoe, B. S. (2013). Plant Cell Walls: Basics of Structure, Chemistry, Accessibility and the Influence on Conversion. *Aqueous Pretreatment of Plant Biomass for Biological and Chemical Conversion to Fuels and Chemicals*, 23–38. <https://doi.org/10.1002/9780470975831.CH3>
- De Resende, T. M., & Da Costa, M. M. (2019). Biopolymers of sugarcane. In *Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives* (pp. 229–254). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00012-3>
- Delapedra-Silva, V., Ferreira, P., Cunha, J., & Kimura, H. (2022). Methods for Financial

- Assessment of Renewable Energy Projects: A Review. *Processes*, 10(2).
<https://doi.org/10.3390/pr10020184>
- Díez, D., Urueña, A., Piñero, R., Barrio, A., & Tamminen, T. (2020). Determination of Hemicellulose, Cellulose, and Lignin Content in Different Types of Biomasses by Thermogravimetric Analysis and Pseudocomponent Kinetic Model (TGA-PKM Method). *Processes* 2020, Vol. 8, Page 1048, 8(9), 1048. <https://doi.org/10.3390/PR8091048>
- Eibes, P. M., & Gabel, F. (2021). Floating microplastic debris in a rural river in Germany: Distribution, types and potential sources and sinks. *Science of The Total Environment*, 151641. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151641>
- European Bioplastics. (2020, December). *Actualización del mercado 2020*.
- FAO. (1993). Determinación de Fibra por Detergente Ácido. In M. A. Olvera, C. A. Martínez, & E. Real de León (Eds.), *Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos contenido*.
- Fernández-Espada, L. (2016). *Desarrollo de materiales bioplásticos proteicos con elevada capacidad de absorción de agua. (Tesis doctoral inédita)*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Flores Nieves, M. M., & Soto Zarazúa, G. M. (2020). Integración de biopolímeros en la Industria Textil. *Inventio*, 16(39), 2448–9026. <https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/5>
- Gabriel, T., Belete, A., Syrowatka, F., Neubert, R. H. H., & Gebre-Mariam, T. (2020). Extraction and characterization of celluloses from various plant byproducts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 1248–1258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.264>
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J., & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1–5. <https://doi.org/10.1016/J.COESH.2017.10.002>

- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7).
https://doi.org/10.1126/SCIADV.1700782/SUPPL_FILE/1700782_SM.PDF
- Ghorbel, N., Kallel, A., & Boufi, S. (2019). Molecular dynamics of poly(vinyl alcohol)/cellulose nanofibrils nanocomposites highlighted by dielectric relaxation spectroscopy. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 124, 105465.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2019.05.033>
- Gibson, L. J. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(76), 2749–2766. <https://doi.org/10.1098/RSIF.2012.0341>
- Giordano, E. D. V., Bosio, B., Camiscia, P., Picó, G. A., & Valetti, N. W. (2021). Cellulose and its cationic derivative obtained from soybean hull as a tool for the remediation of textile dyes in wastewater: Physicochemical characterization and molecular mechanism interaction. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36, 102139.
<https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2021.102139>
- Glińska, K., Gitalt, J., Torrens, E., Plechkova, N., & Bengoa, C. (2021). Extraction of cellulose from corn stover using designed ionic liquids with improved reusing capabilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 181–191.
<https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2020.09.035>
- Gupta, P. K., Raghunath, S. S., Prasanna, D. V., Venkat, P., Shree, V., Chithananthan, C., Choudhary, S., Surender, K., & Geetha, K. (2019). An Update on Overview of Cellulose, Its Structure and Applications. In *Cellulose*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.84727>
- Gutiérrez, M. F. (2022). *Construcción de diagramas de proceso para algunos de los productos*

fabricados en Borani S.A.S.

- Hamouda, T. (2021). Sustainable packaging from coir fibers. In *Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications* (pp. 113–126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819953-4.00006-9>
- Harris, P. T., Westerveld, L., Nyberg, B., Maes, T., Macmillan-Lawler, M., & Appelquist, L. R. (2021). Exposure of coastal environments to river-sourced plastic pollution. *Science of the Total Environment*, 769, 145222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145222>
- Hermida, É. (2011). *Polímeros*. Saavedra.
- Herrera-Rengifo, J., Villa-Prieto, L., Villa-Prieto, A., & García-Alzate, L. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista Ion*, 33(2), 25–34.
- Hindrichsen, I. K., Kreuzer, M., Madsen, J., & Bach Knudsen, K. E. (2006). Fiber and Lignin Analysis in Concentrate, Forage, and Feces: Detergent Versus Enzymatic-Chemical Method. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 2168–2176. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(06\)72287-1](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(06)72287-1)
- Ibrahim, S., Riahi, O., Said, S. M., Sabri, M. F. M., & Rozali, S. (2019). Biopolymers From Crop Plants. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11573-5>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019*.
- Jaén, M., Esteve, P., & Banos-González, I. (2019). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1–17.

<https://doi.org/10.25267/REVEUREKAENSENDIVULGCIENC.2019.V16.I1.1501>

- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jancy, S., Shruthy, R., & Preetha, R. (2020). Fabrication of packaging film reinforced with cellulose nanoparticles synthesised from jack fruit non-edible part using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 142, 63–72. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.09.066>
- Jia, M., Kim, J., Nguyen, T., Duong, T., & Rolandi, M. (2021). Natural biopolymers as proton conductors in bioelectronics. *Biopolymers*, e23433. <https://doi.org/10.1002/bip.23433>
- Jin, V. L., Baker, J. M., Johnson, J. M. F., Karlen, D. L., Lehman, R. M., Osborne, S. L., Sauer, T. J., Stott, D. E., Varvel, G. E., Venterea, R. T., Schmer, M. R., & Wienhold, B. J. (2014). Soil Greenhouse Gas Emissions in Response to Corn Stover Removal and Tillage Management Across the US Corn Belt. *Bioenergy Research*, 7(2), 517–527. <https://doi.org/10.1007/S12155-014-9421-0/FIGURES/5>
- Jumaidin, R., Khiruddin, M. A. A., Asyul Sutan Saidi, Z., Salit, M. S., & Ilyas, R. A. (2020). Effect of cogon grass fibre on the thermal, mechanical and biodegradation properties of thermoplastic cassava starch biocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 746–755. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.011>
- Kabir, E., Kaur, R., Lee, J., Kim, K. H., & Kwon, E. E. (2020). Prospects of biopolymer technology as an alternative option for non-degradable plastics and sustainable management of plastic wastes. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 258, p. 120536). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120536>

- Kosior, E., & Mitchell, J. (2020). Current industry position on plastic production and recycling. In *Plastic Waste and Recycling* (pp. 133–162). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817880-5.00006-2>
- L. Paliwal, R. (2001). EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción. *Fao*, 392. <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>
- Leal, G. F., Ramos, L. A., Barrett, D. H., Curvelo, A. A. S., & Rodella, C. B. (2015). A thermogravimetric analysis (TGA) method to determine the catalytic conversion of cellulose from carbon-supported hydrogenolysis process. *Thermochimica Acta*, 616, 9–13. <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2015.07.017>
- Li, W., Pan, Z., Xu, J., Liu, Q., Zou, Q., Lin, H., Wu, L., & Huang, H. (2021). Microplastics in a pelagic dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) from the Eastern Pacific Ocean and the implications for fish health. *Science of The Total Environment*, 151126. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151126>
- Liu, D., Sun, X., Tian, H., Maiti, S., & Ma, Z. (2013). Effects of cellulose nanofibrils on the structure and properties on PVA nanocomposites. *Cellulose*, 20(6), 2981–2989. <https://doi.org/10.1007/S10570-013-0073-6/FIGURES/8>
- López-Inzunza, D. J. H., Chongo-García, B., La O-León, O., Guerra-Liera, J. E., Luna-López, M., Castro-Camacho, S. J., & López-Juárez, L. (2017). In situ digestibility of corn stover' treated with fibrolytic enzymes. *Revista Ciencia y Agricultura* , 14(1), 31–37.
- López Carrasquero, F. (2005). *Fundamnetos de Polímeros VII*. Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química.
- López, L., & Ortiz, J. (2018). *Afectación en la quema de rastrojo de maíz (Zea mays), en las alteraciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo agrícola, Santa Ana, Manabí*,

- Ecuador 2017*. (Tesis de grado) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Lu, J., Wang, T., & Drzal, L. T. (2008). Preparation and properties of microfibrillated cellulose polyvinyl alcohol composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(5), 738–746. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2008.02.003>
- Luchese, C. L., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2017). Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. *Industrial Crops and Products*, 109, 619–626. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.020>
- Ma, Q., Hu, D., & Wang, L. (2016). Preparation and physical properties of tara gum film reinforced with cellulose nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 606–612. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.01.104>
- Manvi, P. K., Beckers, M., Mohr, B., Seide, G., Gries, T., & Bunge, C. A. (2019). Polymer fiber-based biocomposites for medical sensing applications. In *Materials for Biomedical Engineering: Biopolymer Fibers* (pp. 57–88). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816872-1.00003-0>
- Martillo Aseffe, J. A., Martínez González, A., Jaén, R. L., & Silva Lora, E. E. (2021). The corn cob gasification-based renewable energy recovery in the life cycle environmental performance of seed-corn supply chain: An Ecuadorian case study. *Renewable Energy*, 163, 1523–1535. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.10.053>
- Martillo, J., Lesme, R., & Oliva, L. (2020). Estimación del potencial energético de la tusa en la provincia de los Ríos y Guayas, Ecuador. *Centro Azúcar*, 47, 11–21.
- Martínez, V. (2017). *Estudio de la degradabilidad del PET (polietilen tereftalato) dosificado con un biopolímero de la fibra de banano*.
- Matthews, C., Moran, F., & Jaiswal, A. K. (2021). A review on European Union's strategy for

- plastics in a circular economy and its impact on food safety. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 283, p. 125263). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125263>
- Meira, G., & Gugliotta, L. M. (2019). *Polímeros: introducción a su caracterización y a la ingeniería de polimerización* (1a ed). Ediciones UNL.
- Meng, F., Zhou, Y., Liu, J. Y., Wu, J., Wang, G., Li, R., & Zhang, Y. (2018). Thermal decomposition behaviors and kinetics of carrageenan-poly vinyl alcohol bio-composite film. *Carbohydrate Polymers*, 201, 96–104. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2018.07.095>
- Merci, A., Marim, R. G., Urbano, A., & Mali, S. (2019). Films based on cassava starch reinforced with soybean hulls or microcrystalline cellulose from soybean hulls. *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 100321. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2019.100321>
- Mihaela Jipa, I., Dobre, L., Stroescu, M., Stoica-Guzun, A., Jinga, S., & Dobre, T. (2012). Preparation and characterization of bacterial cellulose-poly(vinyl alcohol) films with antimicrobial properties. *Materials Letters*, 66(1), 125–127. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2011.08.047>
- Miranda, M. I. G., Bica, C. I. D., Nachtigall, S. M. B., Rehman, N., & Rosa, S. M. L. (2013). Kinetical thermal degradation study of maize straw and soybean hull celluloses by simultaneous DSC–TGA and MDSC techniques. *Thermochimica Acta*, 565, 65–71. <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2013.04.012>
- Miranda, R. (2020). *Ingeniería de procesos: diseño e integración de procesos químicos*. Dextra Editorial.
- https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/133352?as_all=procesos__productivos__diagramas__de__flujo&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as&fs_page=10
- Mogrovejo, A. G. (2019). Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención

- de almidón a partir de la oca (*Oxalis tuberosa* Molina) variedad amarilla. *Universidad Politécnica Salesiana*, 116. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17712/1/UPS-CT008394.pdf>
- Molina, A. B., & Flórez-Castillo, J. M. (2020). *Biopolímeros como sistemas de bioencapsulación*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19521.17767/1>
- Montaño, F. J. (2016). *Análisis de productos y servicios de inversión* (I. Editorial (Ed.)). IC Editorial.
- Narancic, T., Cerrone, F., Beagan, N., & O'Connor, K. E. (2020). Recent Advances in Bioplastics: Application and Biodegradation. *Polymers* 2020, Vol. 12, Page 920, 12(4), 920. <https://doi.org/10.3390/POLYM12040920>
- Narancic, T., & O'Connor, K. E. (2017). Microbial biotechnology addressing the plastic waste disaster. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1232–1235. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12775>
- Núñez Hernández, G., Payán García, J. A., Pena Ramos, A., González Castañeda, F., Ruiz Barrera, O., & Arzola Alvarez, C. (2010). Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 85–98.
- Ochi, D., Yassue-Cordeiro, P. H., Severino, P., Yoshida, C. M. P., & da Silva, C. F. (2020). Biopolymers applied as ethylene-scavenging films and coatings. In *Biopolymer Membranes and Films* (pp. 553–573). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818134-8.00023-7>
- Okahisa, Y., Matsuoka, K., Yamada, K., & Wataoka, I. (2020). Comparison of polyvinyl alcohol films reinforced with cellulose nanofibers derived from oil palm by impregnating and casting methods. *Carbohydrate Polymers*, 250, 116907.

<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.116907>

- Pan, Z., Liu, Q., Sun, X., Li, W., Zou, Q., Cai, S., & Lin, H. (2021). Widespread occurrence of microplastic pollution in open sea surface waters: Evidence from the mid-North Pacific Ocean. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/J.GR.2021.10.024>
- Pennington, D. (2020). Bioenergy crops. *Bioenergy*, 133–155. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815497-7.00007-5>
- Pesántes, D. C., & Alberca, A. (2021). *Estudio de la obtención de un material polimérico biodegradable a partir de los desechos de la yuca por adición de agentes plastificantes*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Philp, J. C., Ritchie, R. J., & Guy, K. (2013). Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in Biotechnology*, 31(2), 65–67. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.11.009>
- Picker, K. M., & Hoag, S. W. (2002). Characterization of the thermal properties of microcrystalline cellulose by modulated temperature differential scanning calorimetry. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 91(2), 342–349. <https://doi.org/10.1002/JPS.10018>
- Purwiyanto, A. I. S., Prartono, T., Riani, E., Naulita, Y., Cordova, M. R., & Koropitan, A. F. (2022). The deposition of atmospheric microplastics in Jakarta-Indonesia: The coastal urban area. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113195. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.113195>
- Qaseem, M. F., Shaheen, H., & Wu, A. M. (2021). Cell wall hemicellulose for sustainable industrial utilization. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 144, p. 110996). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110996>
- Qiao, Y., Wang, B., Ji, Y., Xu, F., Zong, P., Zhang, J., & Tian, Y. (2019). Thermal decomposition of castor oil, corn starch, soy protein, lignin, xylan, and cellulose during fast pyrolysis.

- Bioresource Technology*, 278, 287–295. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.01.102>
- Ramesh, S., & Radhakrishnan, P. (2019). Cellulose nanoparticles from agro-industrial waste for the development of active packaging. *Applied Surface Science*, 484, 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2019.04.003>
- Ramesh, S., & Radhakrishnan, P. (2020). Areca nut fiber nano crystals, clay nano particles and PVA blended bionanocomposite material for active packaging of food. *Applied Nanoscience* 2020 12:3, 12(3), 295–307. <https://doi.org/10.1007/S13204-020-01617-2>
- Ranum, P., Peña, J. P., Peña-Rosas, P., Garcia-Casal, M. N., & Nieves Garcia-Casal, M. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112. <https://doi.org/10.1111/NYAS.12396>
- Recreus Industries. (2021, September 1). *¿Qué es la “dureza Shore”?* . <https://recreus.com/es/noticias/aprende-con-recreus/que-es-la-dureza-shore->
- Renete, R. (2014). Valor actual neto y Tasa de retorno o rendimiento. *Instituto de Investigacion En Ciencias Económicas y Financieras Universidad La Salle - Bolivia*, 7, 67–85. [file:///C:/Users/De%7B%7B/Downloads/todo sobre el tir.pdf](file:///C:/Users/De%7B%7B/Downloads/todo%20sobre%20el%20tir.pdf)
- Rhodes, C. J. (2018). Plastic pollution and potential solutions. *Science Progress*, 101(3), 207–260. <https://doi.org/10.3184/003685018X15294876706211>
- Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. R. (2018). Residuos agroindustriales generados en ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Ingeniería Industrial*, 17(3), 227–246. <https://doi.org/https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>
- Rojas-Bringas, P. M., De-la-Torre, G. E., & Torres, F. G. (2021). Influence of the source of starch and plasticizers on the environmental burden of starch-Brazil nut fiber biocomposite production: A life cycle assessment approach. *Science of the Total Environment*, 769, 144869.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144869>

- Saha, T., Hoque, M. E., & Mahbub, T. (2020). Biopolymers for Sustainable Packaging in Food, Cosmetics, and Pharmaceuticals. In *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers* (pp. 197–214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819661-8.00013-5>
- Sánchez Laiño, A., Torres Navarrete, E., Estupiñán Véliz, K., Vargas Burgos, J. C., Sánchez Torres, J., & Sánchez Vélez, N. (2015). Valoración nutritiva del rastrojo de *Zea mays* y *Oryza sativa* para la alimentación de ovinos en el trópico ecuatoriano. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, ISSN-e 1390-5600, Vol. 4, N°. 3, 2015, Págs. 235-249, 4(3), 235–249.
- Sánchez Ortega, I., & Pérez-Urria Carril, E. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *REDUCA Biología*, 7(2), 151–171.
- Sanders, J. E., Han, Y., Rushing, T. S., & Gardner, D. J. (2019). Electrospinning of Cellulose Nanocrystal-Filled Poly (Vinyl Alcohol) Solutions: Material Property Assessment. *Nanomaterials 2019*, Vol. 9, Page 805, 9(5), 805. <https://doi.org/10.3390/NANO9050805>
- Santos, A. M. P., & Melo, E. de A. (2020). Application of edible biopolymer coatings to extend the storage life of fresh fruits and vegetables. In *Biopolymer Membranes and Films* (pp. 505–513). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818134-8.00020-1>
- Silva, S. S., Rodrigues, L. C., Fernandes, E. M., & Reis, R. L. (2020). Fundamentals on biopolymers and global demand. In *Biopolymer Membranes and Films* (pp. 3–34). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818134-8.00001-8>
- Simisterra Quiñonez, É. P., Rosa Monserrate, R. A., & Suárez López, S. C. (2018). La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(17), 9–15.

<https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss17.2018pp9-15>

Sindhu, R., Kuttiraja, M., Prabisha, T. P., Binod, P., Sukumaran, R. K., & Pandey, A. (2016).

Development of a combined pretreatment and hydrolysis strategy of rice straw for the production of bioethanol and biopolymer. *Bioresource Technology*, 215, 110–116.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.080>

Singh, H. K., Patil, T., Vineeth, S. K., Das, S., Pramanik, A., & Mhaske, S. T. (2020). Isolation of microcrystalline cellulose from corn stover with emphasis on its constituents: Corn cover and corn cob. *Materials Today: Proceedings*, 27(xxxx), 589–594.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.065>

Smyth, M., García, A., Rader, C., Foster, E. J., & Bras, J. (2017). Extraction and process analysis of high aspect ratio cellulose nanocrystals from corn (*Zea mays*) agricultural residue.

Industrial Crops and Products, 108, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.006>

Soares, J., Miguel, I., Venâncio, C., Lopes, I., & Oliveira, M. (2021). Public views on plastic pollution: Knowledge, perceived impacts, and pro-environmental behaviours. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125227. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125227>

Soest, P. J. Van, & Wine, R. H. (1967). Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell-Wall Constituents. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 50(1), 50–55. <https://doi.org/10.1093/JAOAC/50.1.50>

Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21(0), 30–42. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2018.0.153>

Statista. (2021, September). *Producción mundial de plástico 1950-2020* .

Sukan, A., Roy, I., & Keshavarz, T. (2015). Dual production of biopolymers from bacteria. In

Carbohydrate Polymers (Vol. 126, pp. 47–51). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.001>

Tian, L., Jinjin, C., Ji, R., Ma, Y., & Yu, X. (2021). Microplastics in agricultural soils: Sources, effects and their fate. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 100311.
<https://doi.org/10.1016/J.COESH.2021.100311>

Torres, F. G., Troncoso, O. P., Pisani, A., Gatto, F., & Bardi, G. (2019). Natural polysaccharide nanomaterials: An overview of their immunological properties. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 20, Issue 20, p. 5092). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/ijms20205092>

Ubale, A. U., & Ibrahim, S. G. (2011). Effect of acetic acid complex on physical properties of nanostructured spray deposited FeCdS₃ thin films. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(5), 2364–2367. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2010.11.020>

Uzcátegui, C. (2007). Capítulo 1 : Entorno Nacional Y Agroindustrial. *Estudio de Factibilidad Para La Implementación de Una Empresa Dedicada a La Industrialización Del Babaco (Doctoral Dissertation, Tesis de Ingeniería Empresarial. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador)*., 1–185.

Vahedikia, N., Garavand, F., Tajeddin, B., Cacciotti, I., Jafari, S. M., Omid, T., & Zahedi, Z. (2019). Biodegradable zein film composites reinforced with chitosan nanoparticles and cinnamon essential oil: Physical, mechanical, structural and antimicrobial attributes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 177, 25–32.
<https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2019.01.045>

Verla, A. W., Enyoh, C. E., Verla, E. N., & Nwornorh, K. O. (2019). Microplastic–toxic chemical interaction: a review study on quantified levels, mechanism and implication. In *SN Applied*

- Sciences* (Vol. 1, Issue 11, pp. 1–30). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1352-0>
- Voronova, M. I., Surov, O. V., Guseinov, S. S., Barannikov, V. P., & Zakharov, A. G. (2015). Thermal stability of polyvinyl alcohol/nanocrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 130, 440–447. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.05.032>
- Wang, H., Pu, Y., Ragauskas, A., & Yang, B. (2019). From lignin to valuable products—strategies, challenges, and prospects. In *Bioresource Technology* (Vol. 271, pp. 449–461). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.072>
- Wang, T., & Zhao, Y. (2021). Optimization of bleaching process for cellulose extraction from apple and kale pomace and evaluation of their potentials as film forming materials. *Carbohydrate Polymers*, 253, 117225. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.117225>
- Wankhade, V. (2020). Animal-derived biopolymers in food and biomedical technology. In *Biopolymer-Based Formulations: Biomedical and Food Applications* (pp. 139–152). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00006-0>
- Wirnkor, V. A., Ebere, E. C., & Ngozi, V. E. (2019). Microplastics, an Emerging Concern: A Review of Analytical Techniques for Detecting and Quantifying Microplastics. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal*, 2(2), 13–30. <https://doi.org/10.24200/amecj.v2.i2.57>
- Xiao, S., Gao, R., Gao, L. K., & Li, J. (2016). Poly(vinyl alcohol) films reinforced with nanofibrillated cellulose (NFC) isolated from corn husk by high intensity ultrasonication. *Carbohydrate Polymers*, 136, 1027–1034. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.09.115>
- Xu, F., & Li, Y. (2017). Biomass Digestion. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (pp. 197–204). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10108-3>

- Yadav, C., Saini, A., Zhang, W., You, X., Chauhan, I., Mohanty, P., & Li, X. (2021). Plant-based nanocellulose: A review of routine and recent preparation methods with current progress in its applications as rheology modifier and 3D bioprinting. In *International Journal of Biological Macromolecules* (Vol. 166, pp. 1586–1616). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.038>
- Yang, C., Li, R., & Zhang, B. (2016). Biomass harvesting and collection. *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining*, 103–125. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-366-9.00005-8>
- Ye, D. Z., Jiang, L., Hu, X. Q., Zhang, M. H., & Zhang, X. (2016). Lignosulfonate as reinforcement in polyvinyl alcohol film: Mechanical properties and interaction analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 83, 209–215. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2015.11.064>
- Yin, J., Li, J. Y., Craig, N. J., & Su, L. (2021). Microplastic pollution in wild populations of decapod crustaceans: A review. *Chemosphere*, 132985. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132985>
- Yousuf, A., Pirozzi, D., & Sannino, F. (2020). Fundamentals of lignocellulosic biomass. In *Lignocellulosic Biomass to Liquid Biofuels* (pp. 1–15). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815936-1.00001-0>
- Yu, J., Paterson, N., Blamey, J., & Millan, M. (2017). Cellulose, xylan and lignin interactions during pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Fuel*, 191, 140–149. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2016.11.057>
- Zarauz, A. N. M., & Lastra, D. A. S. (2018). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas PROYECTO INTEGRADOR Previo*

la obtención del Título de : Ingeniería en Negocios Internacionales Presentado por : Daniel Paolo Cobo Amoretti Morella Sofía Moya Moreira Año.

Zheng, J., & Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change*, 9(5), 374–378. <https://doi.org/10.1038/S41558-019-0459-Z>

Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/J.AIEPR.2019.11.002>

7. Apéndice

Apéndice A

Tabla A1. Evaluación de las dosificaciones mediante la ponderación.

Código de muestra	Formación	Transparencia	Resistencia tensil	Resistencia quiebre	Homogeneidad	Ponderación
M1	3	1	2	3	2	11
M2	1	1	1	1	1	5
M3	3	1	2	1	3	10
M4	1	1	2	2	1	7
M5	3	2	2	1	2	10
M6	2	2	1	2	1	8
M7	1	1	2	2	1	7
M8	2	2	2	1	1	8
M9	2	2	3	2	3	12
M10	1	2	2	1	1	7
M11	1	3	1	1	3	9
M12	3	3	2	3	1	12
M13	2	2	1	1	1	7
M14	3	1	1	1	1	7
M15	1	1	1	1	2	6
M16	3	2	2	1	2	10
M17	1	1	1	1	1	5

M18	2	1	2	1	1	7
M19	3	2	2	3	2	12
M20	2	2	1	1	2	8
M21	3	2	1	2	3	11
M22	2	1	1	1	1	6
M23	2	1	1	2	1	7
M24	3	1	1	3	2	10
M25	3	1	2	3	3	12
M26	2	1	2	3	2	10
M27	1	1	2	2	1	7
M28	2	1	3	3	3	12
M29	1	1	1	1	1	5
M30	3	1	3	3	3	13
M31	1	1	1	1	1	5
M32	3	1	2	3	4	13
M33	3	3	3	3	4	16
M34	2	1	3	2	3	11

Tabla A2. *Dosificaciones elaboradas.*

Código de muestras	Representación grafica
M1	

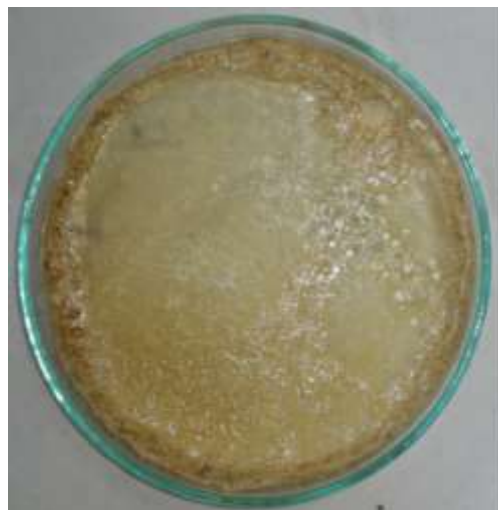
M2



M3



M4



M5



M6



M7



M8



M9



M10



M11



M12



M13



M14



M15



M16	
M17	
M18	

	
M19	
M20	

	
M21	
M22	

	
M23	
M24	

		
M25		
M26		

	
M27	
M28	

	
M29	
M30	

	
M31	
M32	

	
M33	

Apéndice B

Tabla B1

Datos de componentes de rastrojo de maíz obtenidos en laboratorio

Ensayos	Muestra	F.A.D.(%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Hemicelulosa y otros componentes (%)
Lote 1	1	48,15	41,65	7,58	50,77
	2	48,01	42,18	6,57	51,25
	3	49,72	44,83	7,29	47,89
Media		48,62	42,89	7,14	49,97
Lote 2	4	48,70	41,43	9,26	49,31
	5	48,22	41,81	6,91	51,28
	6	47,77	43,07	6,10	50,83
Media		48,23	42,10	7,42	50,48
Lote 3	7	48,64	42,26	7,52	50,22
	8	47,02	41,45	6,68	51,87
	9	49,90	43,56	7,01	49,44
Media		48,52	42,42	7,07	50,51
Lote 4	10	48,78	42,64	6,71	50,65
	11	48,12	41,76	6,60	51,64
	12	49,46	44,22	7,60	48,18
Media		48,79	42,87	6,97	50,16
Media general		48,52	42,55	7,16	50,29

Tabla B2

Datos de Rendimiento obtenidos en laboratorio

Ensayo	AD1	AC1	AD2	AC2
1	23,64	23,12	30,07	32,96
2	26,94	21,97	32,29	30,85
3	26,23	26,81	33,86	31,05
4	31,89	25,39	32,97	29,33
5	28,97	22,16	27,01	27,93
6	27,58	21,45	31,02	31,47

Apéndice C

Fichas técnicas de Maquinaria

- Ficha técnica 1. Estufa de secado UF1060.

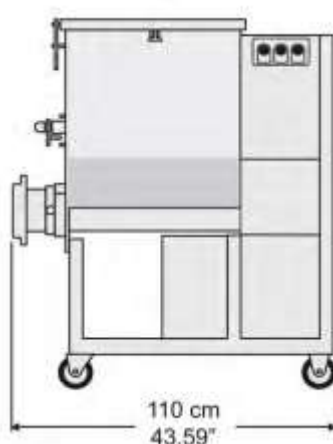


Especificaciones técnicas

Equipamiento básico	
Inserciones	2 rejillas de acero inoxidable

Puerta	Acero inoxidable (cerradura con compresion)
Temperatura	
Rango de temperaturas ajustables	+20 hasta +300 °C
Datos eléctricos	
Consumo eléctrico	50/60 Hz aprox. 7000 W
Fuente: https://labomersa.com/categoria-producto/hospitales/page/4/	

- **Ficha técnica 2.** Molino modelo: MMX-32.



Especificaciones técnicas

Motor	7,5 HP
Voltaje	220 V
Amper	21 A
Peso neto	232 Kg
Cedazo	1/4" 3/8" 1/2" 3/4" 1" 2K

Fuente: <https://torrey.net/categorias/molinos>

- **Ficha técnica 3.** Tanque de mezcla con agitación y calentamiento.



Especificación técnica

Tipo de mezclador	Agitador
Marca	KAIQUAN
Barril de volumen	1000
Rango de velocidad (r.p.A.m)	36 – 2900 r.p.m
Peso (Kg)	400 Kg
Máxima carga volumen (L)	1000 L
Capacidad de cargamento máxima	300 – 10000 L
Potencia (KW)	48 KW

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/?spm=a2700.7735675.scGlobalHomeHeader.6.43fe41787RY>

i5S

- **Ficha técnica 4. Destilador**



Especificaciones técnicas del destilador

Tipo	Destilador de agua
Modelo	NB 50
Marca	NANBEI
Descarga de agua	>50 L/h

Fuente: https://www.alibaba.com/?spm=a2700.8293689-es_ES.0.0.3d3c1061DInXBy

- **Ficha técnica 5. Colador industrial**



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/stock-stainless-steel-strainer-industrial-for-60599792857.html>

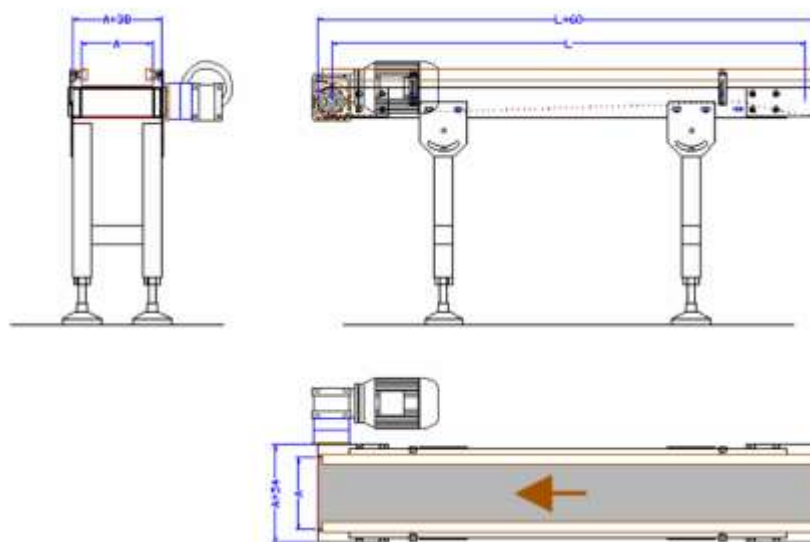
- **Ficha técnica 6. Máquina de extrusión de plástico**

**Características generales de la maquina extrusora**

Materiales procesados	PP, PA, PET
Modelo	SJSZ51
Capacidad de produccion Rendimiento	500 PCS/año
Voltaje	380 V/50Hz

Fuente: <https://es.made-in-china.com/>

- **Ficha técnica 7. Transportador de banda de cargas medianas**



Especificaciones banda transportadora

Ancho de banda	60 a 800mm
Velocidad	2,5 a 120 metros/minuto
Capacidad máxima de carga	80 Kg

Fuente: [http://www.maskepack.com/pdf/catalogo transportadores maskepack - cintas.pdf](http://www.maskepack.com/pdf/catalogo%20transportadores%20maskepack%20-%20cintas.pdf)

Tabla C1. Amortización del crédito financiero.



Detalle Simulación de Crédito

Tipo	Microcredito	Tasa Nominal(%)	11.00
Destino	Capital de Trabajo	Tasa Efectiva(%)	11.57
Sector Económico	Producción	Monto(USD)	20,000.00
Facilidad	Emprendimiento	Plazo(Años)	3
Tipo Amortización	Cuota Fija	Fecha Simulación	2022-03-27
Forma de Pago	Mensual		

Recuerda: Esta información es una simulación de crédito que permite familiarizarse con nuestro sistema.
No tiene validez como documento legal o como solicitud de crédito.

Periodo	Saldo	Capital	Interés	Cuota
0	20000.00			
1	19528.56	471.44	183.33	654.77
2	19052.80	475.76	179.01	654.77
3	18572.67	480.12	174.65	654.77
4	18088.15	484.52	170.25	654.77
5	17599.18	488.97	165.81	654.77
6	17105.73	493.45	161.33	654.77
7	16607.76	497.97	156.80	654.77
8	16105.22	502.54	152.24	654.77
9	15598.08	507.14	147.63	654.77
10	15086.29	511.79	142.98	654.77
11	14569.81	516.48	138.29	654.77
12	14048.59	521.22	133.56	654.77
13	13522.59	526.00	128.78	654.77
14	12991.78	530.82	123.96	654.77
15	12456.09	535.68	119.09	654.77
16	11915.50	540.59	114.18	654.77
17	11369.95	545.55	109.23	654.77
18	10819.40	550.55	104.22	654.77
19	10263.80	555.60	99.18	654.77
20	9703.11	560.69	94.08	654.77
21	9137.29	565.83	88.95	654.77
22	8566.27	571.02	83.76	654.77
23	7990.02	576.25	78.52	654.77
24	7408.49	581.53	73.24	654.77
25	6821.62	586.86	67.91	654.77
26	6229.38	592.24	62.53	654.77
27	5631.71	597.67	57.10	654.77

Periodo	Saldo	Capital	Interès	Cuota
28	5028.56	603.15	51.62	654.77
29	4419.88	608.68	46.10	654.77
30	3805.62	614.26	40.52	654.77
31	3185.73	619.89	34.88	654.77
32	2560.16	625.57	29.20	654.77
33	1928.85	631.31	23.47	654.77
34	1291.76	637.09	17.68	654.77
35	648.83	642.93	11.84	654.77
36	0.00	648.83	5.95	654.77