

USO DE CASCARILLA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE
BIOPOLÍMERO DESTINADO A LA FABRICACION DE CUBIERTOS
BIODEGRADABLES

Elaborado por:
Vargas Franco Laura Elizabeth

Directora:
Chacón Rivera Lina María

Universidad Ean
Facultad de Ingeniería
Proyecto de Grado
Bogotá, 2024

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo	5
Introducción	5
Objetivos	6
Definición del problema	7
Justificación	9
Análisis de requerimientos.....	10
1. Intención del producto	10
2. Parámetros de diseño	10
3. Aspectos sensoriales	12
Marco Teórico	12
1. ¿Qué es el Cacao?	12
1.1 Partes del fruto de Cacao.....	13
2. Cascarilla de Cacao.....	15
2.1 Propiedades de la cascarilla de cacao.....	15
2.3 Composición Química.....	16
2.4 Composición Física.....	18
3. Proceso de Obtención	19
4. Fundamento de Biopolímeros	20
4.1 Definición.....	20
4.2 Tipos de Biopolímeros	21
5. Cubiertos Biodegradables	23
5.1 Impacto Ambiental de los Cubiertos Biodegradables	23
5.2 Estado actual del mercado de cubiertos biodegradables.	24
6. Impacto Ambiental y Sostenibilidad	25
6.1 Contribución a la economía circular.	25
Análisis de restricciones	25
1. Restricciones técnicas	25
2. Ambientales.....	26
3. Económicos.....	26
4. Legales	27

5. Socioculturales.....	27
Definición del diseño de solución.....	28
Parámetros y especificaciones técnicas.....	28
Planteamiento Metodológico	29
Formulación	30
Moldeo y Secado.....	34
Pruebas de calidad.....	35
Justificación Selección de Alternativa	36
Enfoque Sostenible	36
Calidad del producto	37
Viabilidad económica.....	37
Resultados	38
Análisis de costos.....	40
Conclusiones	42
Proyección.....	42
Referencias.....	42

Tabla contenido Figuras

Figura 1 Países de América Latina donde se cultiva cacao fino de aroma.....	13
Figura 2 Anatomía del fruto del Cacao	14
Figura 3 Referencia de Cacota fresca, madura y molida	29
Figura 4 Referencia de la cascarilla usada en formulación.....	29
Figura 5 Moldes impresos en 3D	34
Figura 6 Reporte resultados encuesta pregunta: ¿Qué tan probable es que recomiendes este tipo de producto a tus amigos o familiares?.....	38
Figura 7 Reporte resultados encuesta pregunta: Si pudieras personalizar el producto ¿Qué cambios o mejoras sugerirías?.....	39
Figura 8 Reporte resultados encuesta pregunta: ¿Has percibido algún sabor al utilizar el cubierto?	40
Figura 9 Valores reportados, simulador financiero	40
Figura 10 Estimación ganancias, simulador financiero	41

Tabla contenido Tablas

Tabla 1. Parámetros de diseño para el cubierto Biodegradable.....	11
Tabla 2 Composición nutricional y química de las cáscaras de cacao	17
Tabla 3 Estudios de inactivación de Salmonella en productos de cacao, con temperaturas entre	19
Tabla 4 Descripción de los parámetros iniciales de control en el diseño de la solución.....	28
Tabla 5 Función de materias primas en la Formulación	31
Tabla 6 Formulación ensayo 1	32
Tabla 7 Formulación ensayo 2	32
Tabla 8 Formulación ensayo 3	33
Tabla 9 Análisis microbiológicos.....	35

Resumen ejecutivo

Este proyecto explora el uso de la cascarilla limpia de cacao, un subproducto de la industria de producción de Chocolate, como materia prima para desarrollar una formulación orgánica o biopolímero, destinada a la fabricación de cubiertos biodegradables. La iniciativa responde a la creciente necesidad de reducir la dependencia de plásticos de un solo uso y promover alternativas sostenibles que mitiguen su impacto ambiental. Al revalorizar un residuo agroindustrial subutilizado, se fomenta la economía circular y se abren nuevas oportunidades en la industria de biopolímeros.

El proyecto se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible, buscando ofrecer una solución ecológica y funcional al problema global de los residuos plásticos de un solo uso, a la vez que añade valor a la cadena productiva del cacao. Se evaluará la viabilidad técnica y económica de este material como una alternativa sostenible a los cubiertos plásticos desechables, contribuyendo así al desarrollo de tecnologías más limpias y a la preservación del medio ambiente.

Palabras clave: Cascarilla limpia de cacao, cubiertos biodegradables.

Introducción

Del cacao que se cultiva a nivel mundial solo el 8% se clasifica como Cacao Fino de aroma, Colombia es uno de los productores más importantes de este cacao junto con Ecuador, Venezuela y Perú. Esta certificación, otorgada por la Organización Internacional del Cacao (ICCO), indica que el cacao posee perfiles aromáticos y sensoriales excepcionales además de contar con calidad y variedad especial. (ChocoLukería, 2022).

Al extraer los trozos de los granos de cacao, llamados Nibs, no solo se obtiene un producto

con unas de las mejores características organolépticas, sino que también los residuos resultantes del proceso, como la cascarilla limpia. Esta posee una notable riqueza en propiedades beneficiosas. La cascarilla de cacao es abundante en proteínas, fibra dietética y cenizas, además de contener compuestos bioactivos significativos como metilxantinas y compuestos fenólicos (Balentic, JP, Ačkar, Đ., Jokic, S., Jozinovic, A., Babic, J., Miličević, B., Pavlovic, N. 2018).

Este estudio explora el potencial de la cascarilla de cacao como biopolímero degradable para la fabricación de cubiertos posiblemente consumibles, con el objetivo de reducir residuos y promover prácticas más sostenibles en la industria. Se busca demostrar la viabilidad de este material evaluando su durabilidad, funcionalidad y sostenibilidad en la producción y el consumo.

Objetivos

General

Desarrollar un Biopolímero a partir de cascarilla de cacao para la fabricación de cubiertos biodegradables.

Específicos

- Desarrollar una formulación de cubiertos biodegradables utilizando cascarilla limpiada de cacao.
- Validar la formulación mediante el moldeo y la fabricación de prototipos, evaluando por medio de pruebas específicas la durabilidad, funcionalidad, desempeño y evaluar el potencial de consumo humano.
- Evaluar su viabilidad económica de la producción del cubierto biodegradable.

Definición del problema

Casa Luker, es una empresa colombiana del sector de alimentos, que comenzó como un negocio familiar en 1904 en la hacienda Enea, en Caldas, se ha convertido en una de las compañías más representativas del Eje Cafetero y un referente internacional en la producción de dos productos emblemáticos de Colombia: el café y el cacao. (Revista Dinero, 2017). Luker Chocolate cuenta con una planta de producción en la ciudad de Bogotá que abastece su línea de cacao tanto a nivel nacional como internacional. Esta planta suministra chocolate a otras empresas mediante los modelos business for business (B4B) y business to consumer (B2C) para el consumo masivo. La empresa se enfoca en asegurar la sostenibilidad, transparencia, abastecimiento y trazabilidad en sus procesos, integrando toda la cadena de valor desde la semilla hasta el producto final, con sus diferentes proyectos y gestiones, lo que permite ofrecer a sus clientes un servicio de alta calidad. (Casa Luker, 2020).

La cascarilla de cacao, también conocida como testa, es un subproducto del proceso de torrefacción (tostado) del cacao. Este material, compuesto principalmente por fibra, lignina y celulosa, tiene propiedades biodegradables que lo hacen adecuado para su transformación en productos ecológicos. Del fruto de cacao, alrededor del 85 % de los granos se usan en procesos industriales aprovechables, y el 15 % restante se considera desecho. De este porcentaje, un 12% corresponde a la cascarilla de cacao (Orozco, J; 2021), lo que significa qué representa entre el 10% y el 16% del peso total del grano de cacao, variando según el material genético del cacao. Este aspecto es un parámetro físico clave en la comercialización del cacao y está regulado por la Norma Técnica Colombiana NTC 1252 de 2021. (García, A., Quintana, L., Moreno, E. 2022).

En este contexto, uno de los subproductos del proceso de fabricación de Chocolate, es la

Cascarilla limpia de Cacao, En la producción acumulada del año 2024 se ha encontrado que por cada tonelada de cacao producido se generan 0,2 toneladas de cascarilla limpia como residuo.

Actualmente, esta se vende como ingrediente activo en el sector de alimentación animal. Sin embargo, existe la posibilidad de transformar este residuo en un producto de valor agregado como lo es en el desarrollo de cubiertos biodegradables con cascarilla de cacao.

El problema de los plásticos de un solo uso, especialmente los cubiertos desechables, ha captado la atención global debido a su impacto ambiental negativo. La Unión Europea prevé que la contaminación marina por plásticos aumente hasta los 150 millones de toneladas en los últimos cinco años. (Carr, L. 2020). Además, se estima que más de 300 millones de toneladas de plásticos son producidas a nivel global, de las cuales la mitad son plásticos de un solo uso (Courtney. L, 2024).

Actualmente en Colombia, la Ley 2232 del 2022 implementa acciones destinadas a disminuir la producción y el consumo de plásticos de un solo uso en el país. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). A nivel global, Veintisiete (27) países han promulgado algún tipo de prohibición sobre la fabricación, la distribución, la utilización, la venta, o la importación de plásticos desechables y/o plásticos de un solo uso. (ONU, 2018).

Este esfuerzo por reducir el impacto ambiental de los plásticos de un solo uso ha fomentado no solo la adopción de regulaciones más estrictas, sino también la innovación en la búsqueda de materiales alternativos y sostenibles en la industria, como lo es en este caso los cubiertos biodegradables.

En las últimas décadas, los residuos agroindustriales han captado un creciente interés en el ámbito de la investigación, debido a su potencial para ser reutilizados como materia prima en la creación de productos con valor añadido. Esta tendencia se ha mantenido y se proyecta que siga siendo relevante en el futuro, especialmente en el contexto de la producción de bioenergéticos y la necesidad urgente de mitigar el impacto ambiental generado por estos desechos. La revalorización de estos subproductos no solo ofrece soluciones innovadoras para la gestión de residuos, sino que también contribuye al desarrollo sostenible, alineándose con las prioridades globales de preservar el medio ambiente y promover la economía circular. (Mejias-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., Galáan-Hernández, N., 2016)

Ante esta problemática, la cascarilla de cacao producida por Casa Luker presenta una oportunidad única. Transformar este subproducto en biopolímeros destinados a la fabricación de cubiertos biodegradables podría no solo mitigar el problema de los residuos plásticos de un solo uso, sino también añadir valor a un material que actualmente tiene un uso limitado.

Este proyecto pretende explorar esta posibilidad, evaluando la viabilidad técnica y económica de convertir la cascarilla de cacao en una alternativa sostenible y funcional a los cubiertos plásticos desechables.

Justificación

Este proyecto se fundamenta en la creciente necesidad de encontrar alternativas sostenibles frente a los desafíos ambientales actuales, enfocándose en la reducción de residuos plásticos de un solo uso y la promoción de materiales biodegradables. Al aprovechar la cascarilla limpia de cacao, se busca revalorizar un residuo agroindustrial subutilizado, contribuyendo así a la economía circular y al avance de tecnologías más limpias. Esta iniciativa no solo reduce la

dependencia de plásticos convencionales, cuya degradación tardía causa graves problemas ecológicos, como la contaminación de suelos y aguas, sino que también añade valor a la cadena productiva del cacao, creando nuevas oportunidades en la industria de biopolímeros y productos biodegradables.

Además, el proyecto está alineado con los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en áreas como la producción y el consumo responsables, la acción climática y la preservación de los ecosistemas terrestres. La propuesta busca evaluar la viabilidad técnica y económica de transformar la cascarilla de cacao en una alternativa sostenible y funcional a los cubiertos plásticos desechables, ofreciendo así una solución práctica y ecológica a un problema global.

Análisis de requerimientos

1. Intención del producto

La intención del producto es ofrecer una alternativa ecológica a los cubiertos de plástico de un solo uso, fomentando la sostenibilidad y reduciendo el impacto ambiental. Además, el uso de residuos agroindustriales como la cascarilla de cacao aporta valor añadido a este proceso, promoviendo la economía circular aprovechando residuos agrícolas y reduciendo la dependencia de materiales derivados del petróleo.

2. Parámetros de diseño

Estos parámetros son fundamentales para asegurar que el producto final no solo cumpla con los requisitos técnicos y de calidad esperados, sino que también sea una opción viable desde el punto de vista ecológico y económico. En este sentido, se deben considerar factores como las propiedades mecánicas del material, su capacidad de biodegradación en condiciones naturales, la

seguridad alimentaria, y aspectos relacionados con la ergonomía y la estética tal como se relaciona en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Parámetros de diseño para el cubierto Biodegradable.

Parámetro	Objetivo
Resistencia a la tracción	Evaluación de la fuerza que puede soportar el cubierto antes de romperse.
Resistencia al impacto	Capacidad de resistir caídas o golpes sin fracturarse.
Temperatura de fusión	Punto en el que los cubiertos comienzan a deformarse bajo temperaturas elevadas (importante para su uso con alimentos calientes).
Tiempo de degradación	Se debe establecer un tiempo máximo de descomposición, idealmente menos de 6 meses en condiciones de compostaje industrial.
Seguridad alimentaria	Los materiales deben ser seguros para su uso con alimentos, cumpliendo con las normativas alimentarias internacionales.
Diseño ergonómico	Los cubiertos deben ser cómodos de usar, con un diseño que asegure una buena funcionalidad y experiencia de usuario.
Estética	Se busca que los cubiertos mantengan una apariencia visual agradable, con un acabado superficial liso, posible incorporación de colorantes naturales o texturas orgánicas.
Resistencia (Temperatura, Líquidos)	Los cubiertos deben resistir temperaturas moderadas sin deformarse y no degradarse al entrar en contacto con líquidos o alimentos

	húmedos.
--	----------

Nota. Esta tabla indica los parámetros de diseño que debe cumplir el cubierto biodegradable a base de cascarilla de cacao con el fin de que su uso sea eficiente y cómodo.

3. Aspectos sensoriales

- a. Olor y sabor: El biopolímero elaborado a partir de cascarilla de cacao no debe alterar las propiedades organolépticas de los alimentos.
- b. Textura: Los cubiertos deben tener una textura que no interfiera con la experiencia de uso, ni ser demasiado frágiles o incómodos.
- c. Color: El color de los cubiertos debe ser uniforme y estéticamente agradable, considerando los consumidores finales.

Marco Teórico

1. ¿Qué es el Cacao?

El cacao es un árbol originario de la Amazonía, conocido también como cacaotero. Su fruto, llamado mazorca, contiene semillas que, tras ser fermentadas y secadas, se usan principalmente para extraer chocolate. Este árbol perenne (tiene follaje que permanece verde) florece constantemente y requiere climas cálidos y húmedos. En cultivo, alcanza unos 7 metros de altura, y más de 20 metros en estado natural. El cacaotero empieza a dar frutos a los 4 o 5 años y produce dos cosechas anuales. Crece principalmente en América Latina (Cacao fino de aroma producido en países como: México, Colombia, Venezuela, Bolivia y Perú (CAF, 2020)) como se representa en la Ilustración 1, África y algunas regiones de Asia. Dependiendo de donde sea originario presenta variedades, donde las principales son: Criollo, Forastero y Trinitario. (Raffino, Equipo editorial, Etecé, 2021).

Figura 1 Países de América Latina donde se cultiva cacao fino de aroma.



Nota. Mapa de América (central y sur) donde se representan y localizan los diferentes países donde se cultiva la clase de cacao Fino de aroma. Tomada de: <https://mapasonline.com/> (editada)

1.1 Partes del fruto de Cacao

Después de la fecundación, el fruto del cacao se desarrolla para proteger las semillas hasta su madurez, momento donde se obtiene la cosecha. Este fruto, conocido como mazorca, tiene una forma alargada similar a un calabacín y al madurar adquiere un color rojo o amarillento. Estas pueden tener cáscaras lisas o arrugadas, y variar en forma, midiendo entre 15 a 30 cm de largo y de 7 a 10 cm de ancho. Internamente, contienen de 20 a 40 semillas organizadas en filas alrededor de una placenta central. Las semillas pueden ser planas o redondeadas y miden entre 2 a 3 cm. Están cubiertas por un mucílago blanco que tiene un sabor dulce o ligeramente ácido, dependiendo de su origen genético. (Torras. C., 2023).

Según la empresa Óbolo (2023), el fruto del cacaotero (mazorca) se compone de varias partes:

- Exocarpio: Es la capa externa gruesa y nudosa que protege el fruto.
- Mesocarpio: Se encuentra debajo del exocarpio, es una capa dura levemente leñosa.
- Endocarpio: Esta es la última capa de la cáscara que rodea los granos y la pulpa; es más húmedo y suave en su interior.
- Pulpa ó Mucilago: Las semillas están cubiertas por una pulpa blanca y pegajosa, rica en azúcares, que se elimina durante la fermentación.
- Semilla: Las semillas de cacao son del tamaño de una almendra y pueden ser de color blanquecino a marrón rojizo. Tienen una fina piel oscura que cubre su interior, el cual se utiliza completamente para la producción de chocolate. Inicialmente, las semillas se fermentan en cajones de madera y luego secan al sol.
- Cascarilla: Este es un subproducto derivado del procesamiento postcosecha de la semilla.

Según las partes anteriormente determinadas, en la *Imagen 2* se identifican de una manera más clara estos componentes. (p. 1)

Figura 2 Anatomía del fruto del Cacao



Cacao para todos (@cacaoparatodos) (2022, 28 abril) Anatomía del fruto de cacao, Ilustración de las diferentes partes que componen el fruto de Cacao, con el fin de conocer y establecer nuestro material de trabajo. Tomado de: <https://x.com/cacaoparatodos/status/1519865890661191686>

2. Cascarilla de Cacao

La cascarilla de cacao es la envoltura exterior de las semillas de cacao. Está delgada y fibrosa capa se desprende durante el proceso de fermentación y secado, y normalmente se retira antes de transformar las semillas en cacao en polvo o manteca de cacao. Sin embargo, la cascarilla ha encontrado nuevos usos como materia prima en suplementos nutricionales para animales, gracias a su alto contenido de fibra. Además, se utiliza en infusiones y tés, así como en la producción de harina de cascarilla de cacao. (Torras, 2023)

2.1 Propiedades de la cascarilla de cacao

Un estudio realizado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), encabezado por el alumno en ciencias, Wilver Ernesto Vargas Lucero, acompañado de la profesora investigadora emérita Belinda Vallejo Galland, buscaba demostrar que la cascarilla de cacao es rica en compuestos bioactivos, contiene una alta gama de beneficios para la salud y

aplicaciones industriales. (CIAD, 2022) Según este estudio (CIAD, 2022), las partes más relevantes son:

- Alimentos funcionales: Se incorpora en productos como barras energéticas, bebidas y suplementos nutricionales para aportar fibra, antioxidantes y otros nutrientes.
- Cosmética: Sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias la hacen un ingrediente valioso en productos como cremas y champús.
- Agricultura: Puede utilizarse como fertilizante natural, mejorando la calidad del suelo y favoreciendo el crecimiento de las plantas.
- Producción de biocombustibles: La cascarilla también puede servir como materia prima en la producción de biocombustibles, contribuyendo a la sostenibilidad energética.

2.3 Composición Química

La cascarilla de cacao presenta una composición química rica en celulosa, hemicelulosa y lignina, que le confiere propiedades estructurales. También contiene antioxidantes y nutrientes, lo que la hace valiosa para aplicaciones en la alimentación, la agricultura y la producción de biopolímeros. Según (Murillo-Baca, S., Ponce-Rosas, F., & Huamán-Murillo, M., 2020) caracterizaron sus componentes y destacaron así los siguientes:

- Fibra dietética: La cascarilla es rica en fibra, principalmente en forma de celulosa y hemicelulosa, que forman la matriz estructural de las paredes celulares de las plantas. Estas fibras pueden emplearse como refuerzo en biocompuestos o servir como base para la producción de biopolímeros.
- Polifenoles: Estos compuestos fenólicos, como los flavonoides y los ácidos fenólicos,

son potentes antioxidantes y confieren a la cascarilla propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias. Además, pueden formar enlaces covalentes con biopolímeros, mejorando sus propiedades mecánicas y térmicas.

- **Lignina:** Este polímero complejo, presente en la pared celular vegetal, aporta rigidez y resistencia a la cascarilla. La lignina puede interactuar con otros biopolímeros, formando redes tridimensionales y mejorando las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.
- **Proteínas:** Aunque en menor proporción que la fibra, las proteínas de la cascarilla pueden contribuir a la formación de redes poliméricas y mejorar las propiedades mecánicas de los materiales.

Para tener una información más clara y puntual, a continuación, la *tabla 2* de Composición nutricional y química de la cascarilla de cacao donde presentan una estructura similar a la cascarilla de cacao.

Tabla 2 Composición nutricional y química de las cáscaras de cacao

Parámetro	Cantidad
Energía (kcal/100 g)	122
Humedad (%)	3.60–13.13
Ceniza (g/100 g)	5,96–11,42
Proteínas (g/100 g)	10.30–27.40
Grasas (g/100 g)	1,50–8,49
Carbohidratos (g/100 g)	7,85–70,25
Almidón (g/100 g)	0–2,80
Azúcares solubles (g/100 g)	0,16–1,66
Fibra dietética (g/100 g)	39,25–66,33
Fibra soluble (g/100 g)	7.03–16.91
Fibra insoluble (g/100 g)	28.34–50.42
Pectina (g/100 g)	7,62–15,59
Vitaminas	
- B1 (µg/g)	0,70–3,10
- B2 (µg/g)	0,90–3,10
- B6 (µg/g)	0,90–3,10

Flavonoles	
- Epicatequina (mg/g)	0,21–34,97
- Catequina (mg/g)	0,18–4,50
- Procianidina B1 (mg/g)	0,55–0,83
- Procianidina B2 (mg/g)	0,23–1,38
Metilxantinas	
- Teobromina (g/100 g)	0,39–1,83
Cafeína (g/100 g)	0,04–0,42

Nota. Esta tabla indica la composición química en valores y porcentajes de la cascara de cacao. Adaptado de: Rojo-Poveda, O., Letricia Barbosa-Pereira, Zeppa, G., & Stévigny, C. (2020).

2.4 Composición Física

La cascarilla de cacao tiene una estructura física interesante, que aporta a sus propiedades y usos. Esta composición es esencial para la elaboración de biopolímeros y otros materiales funcionales.

- **Microestructura:** La microestructura de la cascarilla de cacao se compone principalmente de fibras y células organizadas en una red tridimensional. La forma en que están dispuestas estas fibras influye en las propiedades mecánicas del material. Las paredes celulares incluyen componentes como celulosa, hemicelulosa y lignina, que son responsables de la rigidez y resistencia del material. (Rojo-Poveda O, Barbosa-Pereira L, Zeppa G, Stévigny C., 2020)
- **Porosidad:** La porosidad es una característica clave de la cascarilla de cacao. Esta propiedad no solo impacta la capacidad de retención de humedad, sino que también influye en la interacción con otros compuestos en la formulación de biopolímeros. Un nivel elevado de porosidad puede facilitar la incorporación de aditivos y potenciar la funcionalidad de los materiales compuestos. (Nicolescu CM, Bumbac M, Buruleanu CL, Popescu EC, Stanescu SG, Georgescu AA, Toma SM., 2023)

- **Propiedades Mecánicas:** La cascarilla de cacao exhibe una serie de propiedades mecánicas que dependen de su composición física. La presencia de lignina y otros componentes estructurales aporta resistencia y rigidez, lo cual resulta beneficioso para su uso como refuerzo en materiales compuestos. (Rojo-Poveda O, Barbosa-Pereira L, Zeppa G, Stévigny C., 2020)

3. Proceso de Obtención

El proceso industrial para la obtención de la cascarilla de cacao seca y limpia comienza con la recepción de los granos de cacao, los cuales han sido previamente fermentados y secados. En esta etapa inicial, se lleva a cabo la clasificación y eliminación de cualquier impureza o elemento extraño presente en los granos. Posteriormente, los granos son sometidos a un tratamiento infrarrojo, el cual aplica altas temperaturas con dos objetivos clave:

- Expandir la cáscara externa del grano de cacao.
- Inactivar bacterias patógenas, principalmente Salmonella. Según estudios (ver Tabla 3), temperaturas entre 100°C y 110°C son efectivas para la eliminación de esta bacteria en los granos de cacao.

Tabla 3 Estudios de inactivación de Salmonella en productos de cacao, con temperaturas entre 100°C y 110°C.

Autor y Año	Producto	Método	Condiciones	Microorganismo prueba
Izurieta W, Komitopoulou E 2012	Cascara de avellana y cacao	Horneado	100°C - 30 min. 100°C - 15 min	Salmonella Napoli
Nascimento M et al., 2012	Granos de cacao	Tostado	130°C - 20 min	

				Salmonella Typhimurium ATCC 14028, S. Oraniemburg, S. Senftenberg, S. Eastbourn y S. Enteritidis
--	--	--	--	--

Nota. Esta tabla señala dos estudios en los que demuestra la inactivación de la salmonella.
Adaptada de: *Fernández, M. (2018).*

Una vez sometidos al tratamiento infrarrojo, los granos, junto con la cascarilla, pasan al equipo de descascarillado (trilladora). En esta fase, los granos se trituran a baja velocidad, lo que permite fracturar más del 50% de ellos, facilitando la separación de la cascarilla en el grano. Las fracciones trituradas son luego tamizadas mediante cribas y, a través de un sistema de succión de aire, se separa la cascarilla limpia del cacao de los fragmentos del grano.

La cascarilla de cacao, ya seca y limpia es transportada por ductos hacia silos de almacenamiento, donde se procede con su embalaje según las disposiciones del producto. Los granos fracturados, conocidos como nibs, continúan su proceso de producción independiente.

4. Fundamento de Biopolímeros

4.1 Definición

Los biopolímeros son polímeros producidos por organismos vivos o derivados de fuentes biológicas renovables. El término "biopolímero" proviene de las palabras griegas "bio" y "polímero", que representan la conexión con el mundo natural y los seres vivos. (Singh, N. K., Baranwal, J., Pati, S., Barse, B., Khan, R. H., & Kumar, A., 2023)

Estos, abarcan tanto a los polímeros naturales, como la celulosa o el almidón, que se producen de manera natural en el ambiente, como a aquellos de origen biológico que son fabricados artificialmente a partir de recursos naturales. Estos se forman mediante largas cadenas de biomoléculas compuestas por unidades monoméricas (estructura de formación de un

polímero) repetidas, unidas por enlaces covalentes. (Singh, N. K., Baranwal, J., Pati, S., Barse, B., Khan, R. H., & Kumar, A., 2023), que pueden variar en tamaño y complejidad. (Dawber y Moore, 1979).

Investigaciones han demostrado que los biopolímeros derivados de materiales orgánicos y vegetales son más eficaces para el envasado de productos, ya que son biocompatibles y se biodegradan rápidamente bajo condiciones naturales. Esto contribuye a la protección del ecosistema y resulta ser más saludable para las personas. (Babaremu, K., Oladijo, O. P., & Akinlabi, E., 2023)

4.2 Tipos de Biopolímeros

Los biopolímeros son derivados de diferentes fuentes naturales, así mismo tienen diferentes aplicaciones debido a sus propiedades biodegradables y biocompatibles. Según esto, los biopolímeros se pueden clasificar por su origen, su estructura química y aplicación. (Sasikanth, V., Meganathan, B., Rathinavel, T., Seshachalam, S., Nallappa, H. y Gopi, B., 2024)

- Biopolimeros Naturales
 - Polisacáridos: Son carbohidratos complejos formados por largas cadenas de monosacáridos. Se encuentran en las paredes celulares de las plantas (celulosa) y en el exoesqueleto de los artrópodos (quitina). Desempeñan un papel fundamental en la estructura de las células y en el almacenamiento de energía en los seres vivos. (Tharanathan, 2003). En los principales polisacáridos se encuentran los almidones, la celulosa y la quitina.
 - Proteínas: Las proteínas como la caseína y la fibroína, que están formadas por cadenas de aminoácidos, estas moléculas cumplen una amplia variedad de

funciones biológicas, que van desde proporcionar soporte estructural en tejidos (como el colágeno en la piel) hasta actuar como enzimas, las cuales catalizan reacciones químicas esenciales en el cuerpo, facilitando procesos como la digestión y la síntesis de ADN. Por ejemplo, se utiliza gelatina en la industria alimentaria y farmacéutica. (Khan Academy. 2023).

- Biopolímeros Sintéticos

- Ácido poli láctico (PLA): Los microorganismos sintetizan estos biopolímeros y los obtienen de recursos renovables. El ácido láctico producido por fermentaciones se polimeriza para formar PLA. En aplicaciones industriales y médicas, se utiliza este material porque es biodegradable y no produce subproductos tóxicos durante su degradación.
- Polihidroxicanoatos (PHA): Biopolímeros producidos por ciertos microorganismos como productos de almacenamiento de carbono. Son poliésteres que pueden ser biodegradables y se obtienen a partir de fuentes renovables. Tienen una buena resistencia mecánica y térmica. (Lemos. A., Córdoba. A., 2015)
- Poliésteres: Dependiendo de su estructura química y el proceso de fabricación, los poliésteres pueden tener una amplia gama de propiedades, desde rígidos y duros hasta flexibles y elásticos. El PBAT, también conocido como polibutirato de adipato de tereftalato, es un poliéster biodegradable que se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, particularmente en la industria del empaque. Se produce polimerizando monómeros de recursos renovables. Tiene propiedades

mecánicas similares a las de los plásticos convencionales, lo que lo hace apto para aplicaciones que requieren resistencia y flexibilidad. (Zhang et al., 2021)

5. Cubiertos Biodegradables

Los cubiertos biodegradables representan una alternativa sostenible en comparación con los cubiertos de plástico convencionales. Estos productos están fabricados a partir de materiales que se descomponen naturalmente en condiciones adecuadas, lo que reduce su impacto ambiental. (Rojas, 2022).

5.1 Impacto Ambiental de los Cubiertos Biodegradables

Los cubiertos biodegradables tienen un impacto ambiental mucho más reducido en comparación con los tradicionales de plástico. Mientras que los cubiertos de plástico pueden tardar siglos en descomponerse, los biodegradables, elaborados a partir de recursos renovables como almidones, fibras naturales o biopolímeros, pueden degradarse en solo unos meses bajo condiciones adecuadas, como las que ofrecen los sistemas de compostaje industrial (Casas. Y, Fuquen. L., Ramirez. D., Gomez. A.; 2020)

La fabricación de cubiertos biodegradables generalmente emite menos gases de efecto invernadero en comparación con los de plástico, los cuales dependen del petróleo como recurso principal (ONU Medio Ambiente, 2018). Asimismo, su ciclo de vida, desde la obtención de materiales hasta su descomposición, está en sintonía con los principios de sostenibilidad, ayudando a disminuir tanto la huella de carbono como la cantidad de residuos plásticos que acaban en vertederos o en entornos naturales.

Un estudio de la Agencia Europea de Medio Ambiente (2021) reveló que, aunque la fabricación de cubiertos biodegradables puede llegar a consumir más agua al inicio, su impacto

ambiental general es significativamente menor. En comparación, los cubiertos plásticos convencionales producen una mayor cantidad de desechos tóxicos, contribuyendo a la contaminación por micro plásticos que perjudica tanto los ecosistemas marinos como terrestres.

5.2 Estado actual del mercado de cubiertos biodegradables.

El mercado de cubiertos biodegradables ha mostrado un crecimiento constante en los últimos años, impulsado por la creciente conciencia ambiental y las regulaciones que limitan el uso de plásticos de un solo uso en diversas regiones del mundo. Según un informe de Allied Market Research (2023), se espera que el mercado global de cubiertos biodegradables alcance los 1,5 mil millones de dólares en 2028, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 7,8%. (Market, A. 2023).

En Colombia, el mercado de productos desechables biodegradables ha sido impulsado por iniciativas gubernamentales y la creciente conciencia ambiental entre los consumidores. La implementación de la Ley 2232 de 2022, que regula la producción, importación y comercialización de plásticos de un solo uso, ha sido un factor clave en la adopción de alternativas sostenibles, incluyendo los cubiertos biodegradables. Esta normativa fomenta el uso de materiales biodegradables y compostables para reemplazar los productos plásticos que generan contaminación y afectan los ecosistemas naturales (Congreso de Colombia, 2022).

Empresas locales han comenzado a producir cubiertos biodegradables utilizando materiales como biopolímeros derivados de residuos agroindustriales, almidón de maíz, bagazo de caña y fibras naturales. Estos productos se han introducido en sectores clave como la industria de alimentos y bebidas, los eventos masivos y el turismo, donde el uso de productos desechables es común (Mantilla, K., Bolaños, L., 2024).

6. Impacto Ambiental y Sostenibilidad

Los cubiertos biodegradables juegan un papel clave en la reducción del impacto ambiental asociado con los productos desechables. Estos productos no solo reducen la dependencia de recursos fósiles, sino que también minimizan la cantidad de residuos no biodegradables que terminan en vertederos y océanos.

6.1 Contribución a la economía circular.

El uso de biopolímeros en la fabricación de cubiertos biodegradables contribuye directamente a la economía circular al permitir que los productos cumplan su ciclo de vida de manera más sostenible. La economía circular se basa en la reutilización, el reciclaje y la regeneración de productos y materiales, con el objetivo de mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible y reducir el desperdicio (Ellen MacArthur Foundation, 2020).

Análisis de restricciones

1. Restricciones técnicas

El desarrollo de un biopolímero a partir de cascarilla de cacao enfrenta retos técnicos relacionados con las propiedades del material y la producción a escala. Para ser viable, los cubiertos deben cumplir con normativas colombianas, como la Resolución 683 de 2012, que regula los materiales en contacto con alimentos, garantizando que no liberen compuestos perjudiciales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012). Además, es necesario lograr propiedades mecánicas como resistencia a la tracción e impacto, y estabilidad térmica para soportar temperaturas elevadas al contacto con alimentos calientes.

2. Ambientales

El aprovechamiento de la cascarilla de cacao como materia prima para biopolímeros presenta restricciones ambientales relacionadas con su gestión y procesamiento. Aunque ofrece una oportunidad para la sostenibilidad mediante la revalorización de residuos agroindustriales, es crucial controlar el impacto ambiental generado durante su transformación, en cumplimiento con el Decreto 1076 de 2015, que regula la gestión ambiental y el manejo sostenible de recursos naturales en Colombia. El proceso de obtención de cascarilla limpia, que incluye el tostado y separación mecánica, puede ocasionar emisiones de dióxido de carbono y residuos sólidos. Por ello, se requiere implementar sistemas de mitigación, como filtros para partículas y una gestión eficiente de residuos. Además, el alto consumo energético del tostado demanda estrategias para reducir la huella de carbono asociada al proceso.

3. Económicos

La fabricación de cubiertos biodegradables con cascarilla de cacao enfrenta costos adicionales debido a su naturaleza como producto natural y al procesamiento especializado que requiere. Esto podría afectar su competitividad frente a alternativas consolidadas, como cubiertos de madera, masa de cereales o bagazo de caña. Por ello, es fundamental evaluar la viabilidad económica del proceso, teniendo en cuenta los recursos financieros disponibles y las oportunidades de optimización.

Para obtener apoyo económico, se pueden explorar programas de incentivos para proyectos sostenibles en Colombia, como los gestionados por Ministerio de Ciencias o aquellos respaldados por la Ley 1715 de 2014, que facilita el acceso a beneficios económicos para iniciativas que promuevan la sostenibilidad. Asimismo, será crucial implementar estrategias para

reducir costos operativos sin comprometer la calidad del producto, asegurando su posicionamiento competitivo en el mercado.

4. Legales

El cumplimiento de la normativa colombiana es esencial para evitar problemas legales. La Ley 2232 de 2022 establece estrictos lineamientos para la fabricación y comercialización de alternativas biodegradables a los plásticos de un solo uso. Adicionalmente, los cubiertos deberán cumplir con la Resolución 2154 de 2012, que regula la inocuidad de los materiales en contacto con alimentos. Si el proyecto busca protección de propiedad intelectual, será necesario patentar el biopolímero desarrollado bajo la Decisión 486 de la Comunidad Andina. Por último, si se proyecta exportar los cubiertos, es crucial que cumplan con estándares internacionales, como los de la FDA en Estados Unidos o los de la CE en Europa.

5. Socioculturales

La aceptación del producto puede variar entre los consumidores, especialmente en cuanto al uso de residuos agroindustriales como material para utensilios. Propiedades sensoriales como olor, textura y apariencia serán determinantes en la percepción del consumidor final. Por otro lado, Colombia, siendo un país productor de cacao, podría enfrentar resistencias culturales en el uso de subproductos del cacao para fines no alimenticios. Además, sensibilizar al mercado sobre los beneficios ambientales de los cubiertos biodegradables será crucial para garantizar su adopción, especialmente en sectores donde el uso de materiales sostenibles aún no es prioritario.

Definición del diseño de solución

Parámetros y especificaciones técnicas

Al ejecutar la parte práctica del proyecto, se identificaron y controlaron diversas variables clave que influyen en la calidad y funcionalidad de las cucharas biodegradables y comestibles. Estos parámetros fueron esenciales para garantizar que el producto final cumpliera con los estándares requeridos en términos de resistencia mecánica, estabilidad térmica, biodegradabilidad, seguridad alimentaria y aceptación sensorial.

Tabla 4 Descripción de los parámetros iniciales de control en el diseño de la solución.

Parámetro	Descripción
Pre-acondicionamiento materia prima	Realizar una limpieza y un lavado inicial, de la cacota de cacao o mazorca. Buscando mitigar y eliminar impurezas, partículas externas y posibles contaminantes microbiológicos, asegurando que el material sea apto para su posterior procesamiento y cumpla con los estándares de calidad e inocuidad requeridos.
Tamaño de partícula cascarilla	Se combinan diferentes tamaños de partículas de la cascarilla de cacao para optimizar su integración en la formulación y mejorar las propiedades mecánicas y sensoriales del producto final.
Temperatura secada	Se estableció y controló una temperatura de secado superior a 65°C, con el fin de preservar las características de las materias primas. Temperaturas más altas podrían haber provocado la descomposición o quema del material, comprometiendo la calidad final del biopolímero.

Nota. Elaboración propia.

Planteamiento Metodológico

Las materias primas principalmente usadas en este proyecto son los subproductos del proceso del cacao, en condiciones:

- La selección de la cacota que se selecciona debe estar fresca, madura y molida con un tamaño entre 0,4 a 0,6 mm.

Figura 3 Referencia de Cacota fresca, madura y molida



Nota. Elaboración propia.

- La cascarilla limpia y seca, se obtiene del proceso de descascarillado. Se trabajará con un tamaño de partícula de 400 micras.

Figura 4 Referencia de la cascarilla usada en formulación



Nota. Elaboración propia.

Estos subproductos fueron seleccionados fundamentalmente para un mayor aprovechamiento y generar un valor agregado en el proceso ya que cuentan con un alto valor en fibra, celulosa y lignina, componentes esenciales para formar la estructura básica del biopolímero.

Adicionalmente, se incorporaron otras materias primas buscando que fueran compatibles y naturales, seleccionadas para complementar las propiedades de los subproductos del cacao y lograr una estructura con cohesión, resistencia y estabilidad del material final.

Formulación

Durante la ejecución e investigación se experimentaron diferentes composiciones en formulación y porcentajes de materia prima. El objetivo fue mejorar los porcentajes de materia prima principal y las características como textura, resistencia mecánica, estabilidad térmica y sabor.

Cada formulación fue revisada para determinar su capacidad de cumplir con las exigencias

funcionales de un utensilio, así como para garantizar que fuera apta para el consumo humano.

Esta etapa incluyó pruebas preliminares para evaluar el rendimiento del material bajo condiciones de uso real, como su capacidad para soportar líquidos calientes y fríos sin degradarse ni alterar el sabor de los alimentos.

Las materias primas seleccionadas cumplen la función de:

Tabla 5 Función de materias primas en la Formulación

Materia Prima	Función en formulación
Cascarilla limpia y seca de Cacao	Aporta fibra, lignina y celulosa, proporcionando rigidez y resistencia mecánica.
Cacota o mazorca de cacao	Fuente de ligantes naturales como pectinas, que favorecen la cohesión de la mezcla. Contribuye a una textura uniforme y mejora el moldeado del producto.
Almidón de maíz	Base del biopolímero, proporciona flexibilidad, capacidad de moldeado y cohesión estructural. Mejora la biodegradabilidad en condiciones de compostaje.
Agua	Actúa como disolvente, hidratando los componentes y activando sus propiedades adhesivas y estructurales.
Glicerina	Incrementa la flexibilidad del material, evitando fragilidad y mejorando la manejabilidad del producto final.
Ácido Acético 5%	Previene el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento, garantizando la seguridad y vida útil del producto.

--	--

Nota. Elaboración propia.

Se experimentaron y analizaron tres formulas en las que se varia la proporción de componentes, esto permitió identificar cómo los cambios en las cantidades y adición de nuevas materias primas se logran comportar y tener una estabilidad diferente sin alterar las condiciones de temperatura y tiempo de secado.

Tabla 6 Formulación ensayo 1

<i>Componentes</i>	<i>Porcentaje de composición (%)</i>
<i>Cacota molida</i>	10 – 15 %
<i>Harina de Cascarilla</i>	15 – 20 %
<i>Almidón de Maíz</i>	15 – 20 %
<i>Glicerina</i>	10 – 15 %
<i>Ácido acético 5%</i>	1 – 5 %
<i>Agua destilada</i>	50 – 80 %

Nota. Elaboración propia.

Esta formulación (*Tabla 6.*) mostró resultados positivos, logrando una mezcla homogénea con una consistencia suave lo que facilitó el proceso de moldeado por ende permitió una manipulación adecuada del material. Aunque el rendimiento general fue satisfactorio, se identificaron oportunidades de ajuste para mejorar y controlar aspectos como la humedad después del secado.

Tabla 7 Formulación ensayo 2

<i>Componentes</i>	<i>Porcentaje de composición (%)</i>
<i>Cacota molida</i>	15 – 20 %
<i>Harina de Cascarilla</i>	15 – 20 %
<i>Almidón de Maíz</i>	10 – 20 %
<i>Glicerina</i>	5 – 10 %
<i>Ácido acético 5%</i>	1 – 3 %
<i>Agua destilada</i>	35 – 45 %
<i>Goma Arábica</i>	5 – 10 %

Nota. Elaboración propia.

De esta formulación se tenían altas expectativas debido a su mezcla homogénea, con buena cohesión y consistencia. La adición de goma arábica mejoró inicialmente la cohesión estructural y aportó estabilidad a la mezcla.

Sin embargo, después de someterla al proceso de moldeo y secado con las condiciones establecidas de tiempo y temperatura, surgieron limitaciones en sus características organolépticas. El sabor y color resultó ser más fuerte de lo esperado, y el contenido de humedad permaneció superior al 50%, lo que afectó la calidad final del producto. Estos resultados indican la necesidad de realizar ajustes en la formulación y en las condiciones del proceso para mejorar su funcionalidad y aceptación sensorial.

Tabla 8 Formulación ensayo 3

<i>Componentes</i>	<i>Porcentaje de composición (%)</i>
<i>Cacota molida</i>	20 – 25 %
<i>Harina de Cascarilla</i>	20 – 25 %
<i>Almidón de Maíz</i>	10 – 15 %
<i>Glicerina</i>	5 – 11 %
<i>Ácido acético 5%</i>	1 – 5 %
<i>Agua destilada</i>	30 – 45 %

Nota. Elaboración propia.

Esta formulación demostró ser la más eficiente y estable dentro del proyecto. La combinación específica de los tamaños de partícula de la cacota y la harina de cascarilla resultó en una estructura uniforme y bien cohesionada, optimizando las propiedades mecánicas y sensoriales del biopolímero. La mezcla mostró excelente homogeneidad, adecuada para el proceso de moldeo y secado, con características finales que satisfacen las expectativas de funcionalidad, resistencia y aceptación. Esta fórmula destaca como la base ideal para realizar los prototipos de las cucharas biodegradables y comestibles.

Moldeo y Secado

Una de las etapas más importantes en el desarrollo de este proyecto fue el diseño y ejecución del proceso de moldeo y secado, esenciales para garantizar la calidad y funcionalidad del producto final. Se diseñó e imprimió un molde en 3D (Imagen 6) con una estructura ergonómica e innovadora, pensado para optimizar el uso y desempeño de la cuchara biodegradable.

Figura 5 Moldes impresos en 3D



Medidas: Cuchara grande 12 cm x 3cm y pequeña 12x2,5cm

Nota. Elaboración propia.

Durante el proceso de secado, se controlaron dos variables fundamentales: la temperatura y el

tiempo. Estas variables se aseguraron para preservar las propiedades mecánicas del material y garantizar su estabilidad. La temperatura fue regulada para evitar que las altas temperaturas descompusieran o dañaran la estructura del biopolímero, mientras que el tiempo se optimizó para asegurar una eliminación adecuada de la humedad sin comprometer la cohesión del producto.

Una vez que el material se adapta a la forma del molde, se procede al desmoldeo y pasa al horno de secado bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura.

Una variable importante en el proceso de moldeo es la evaluación del uso de técnicas como el moldeo por inyección, que podría optimizar la producción y mejorar las propiedades del producto final. Este método está directamente relacionado con el secado, ya que permite opciones como secar el biopolímero aún dentro del molde, reduciendo deformaciones y mejorando la cohesión estructural, o continuar con el secado una vez desmoldado, como se realiza actualmente. La elección de la técnica más adecuada dependerá de factores como la eficiencia, la calidad del producto y los costos asociados.

Pruebas de calidad

Se realizaron pruebas de calidad para evaluar la funcionalidad y aceptación de las cucharas biodegradables, abarcando los siguientes aspectos:

- **Análisis microbiológicos:** Con el fin de evaluar y verificar la inocuidad y posible consumo de la cuchara, estos estudios (*tabla.9*) validan los procesos de fabricación, aseguran el cumplimiento de normativas de materiales en contacto con alimentos y certifican que el producto es seguro incluso al interactuar con alimentos, fortaleciendo la calidad y aceptación comercial del producto.

Tabla 9 Análisis microbiológicos

Análisis	Mohos y levaduras	Mesófilos	E. coli	Coliformes	Enterobacterias	Bacillus cereus	Staphylococcus Aureus
UFC/g	<100	> 300	<10	<10	<10	<100	<100

Se especifican los análisis evaluados, estos según metodología establecido en Casa Luker

Nota. Elaboración propia

- Olor: Evaluación de la presencia de aromas naturales o indeseados en el producto.
- Sabor: Análisis del impacto sensorial del producto en contacto con alimentos, asegurando que sea neutro o agradable.
- Ergonomía: Verificación de la comodidad y facilidad de uso del cubierto para diferentes tipos de alimentos.
- Textura: Inspección de la superficie y sensación al tacto, garantizando que sea uniforme y adecuada para su propósito.
- Resistencia funcional: Prueba de la capacidad del cubierto para soportar esfuerzos físicos, como cortes o presión, sin romperse o deformarse.
- Aceptación sensorial: Se realizaron pruebas con diferentes usuarios para evaluar la experiencia sensorial en términos de textura y facilidad de aplicación.

Justificación Selección de Alternativa

Enfoque Sostenible

- Revalorización de residuos agroindustriales: Utilizar cascarilla de cacao, un subproducto del proceso de producción de chocolate permite reducir los desechos generados en esta industria y promueve la economía circular. Esto no solo mitiga el impacto ambiental, sino que también

añade valor a un material que, de otro modo, tendría aplicaciones limitadas.

- Reducción del impacto ambiental: Este tipo de cubiertos ofrecen una solución práctica a la problemática de los residuos de los plásticos de un solo uso, ya que son compostables y se degradan en condiciones naturales en menos de 6 meses, disminuyendo la acumulación de residuos en vertederos y ecosistemas.
- Contribución a objetivos de sostenibilidad: El proyecto se alinea con iniciativas globales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con aquellos relacionados con producción y consumo responsables (ODS 12) y acción climática (ODS 13).

Calidad del producto

El biopolímero desarrollado demuestra resistencia mecánica adecuada, propiedades ergonómicas y seguridad microbiológica que lo hacen apto para el contacto con alimentos. Estos cubiertos son funcionales, seguros y cómodos de usar, además de mantener una buena aceptación sensorial.

Viabilidad económica

La viabilidad económica del proyecto se fundamenta en la optimización de costos, ya que, al utilizar un subproducto abundante como materia prima principal, se reduce el costo de producción. Además, se establecieron procesos eficientes que optimizan el uso de energía, materiales e infraestructura, minimizando los gastos operativos. La creciente demanda de cubiertos biodegradables, impulsada por regulaciones como la Ley 2232 de 2022 en Colombia y normativas internacionales que limitan el uso de plásticos desechables, posiciona al proyecto como competitivo en el mercado.

Además, el diseño del proceso permite una fácil escalabilidad, lo que mejora la relación costobeneficio al adaptar la producción a niveles industriales.

Resultados

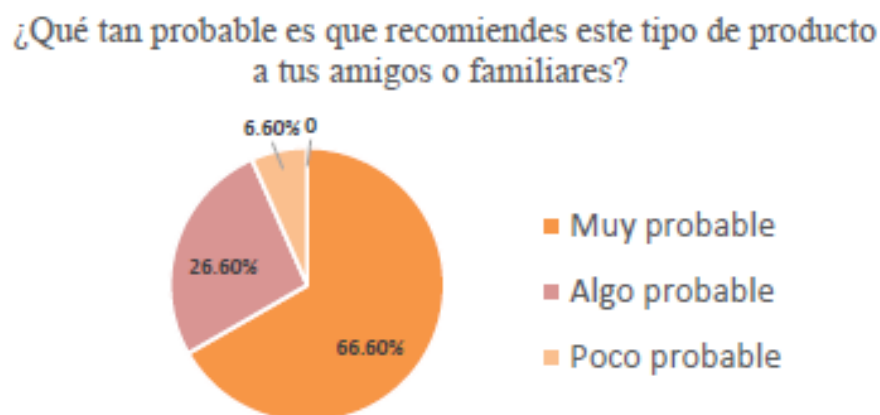
Al obtener un prototipo, se llevó a cabo una encuesta con el propósito de evaluar el estudio de mercado y medir la aceptación de los cubiertos biodegradables. La encuesta se enfocó en recopilar información sobre la disposición de los consumidores a utilizar este tipo de producto. Se seleccionaron 15 personas, a quienes se les entregó una muestra para evaluar el desempeño funcional y las características organolépticas del cubierto en un ambiente común, recreando escenarios reales de uso.

Los resultados obtenidos permitieron identificar percepciones clave sobre la usabilidad, el diseño y la aceptación sensorial del producto.

Las respuestas más relevantes son:

- **Recomendación a un conocido**

Figura 6 Reporte resultados encuesta pregunta: *¿Qué tan probable es que recomiendes este tipo de producto a tus amigos o familiares?*

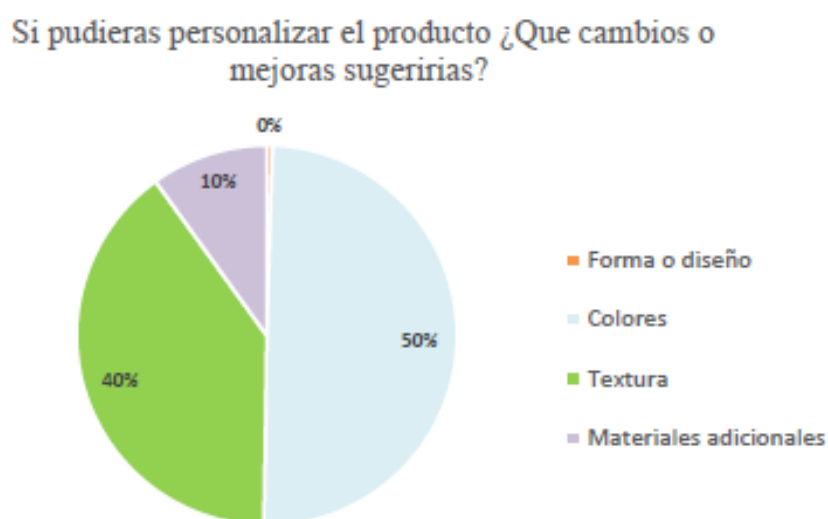


Nota. Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

En la pregunta "*¿Qué tan probable es que recomiendes este tipo de producto a tus amigos o familiares?*", más del 50% de los encuestados manifestaron que recomendarían el uso de las cucharas biodegradables. Este resultado resalta una percepción positiva hacia el producto y su potencial aceptación en el mercado, evidenciando el interés de los consumidores en alternativas sostenibles y ecológicas.

- **Cambios o mejoras recomendadas**

Figura 7 Reporte resultados encuesta pregunta: *Si pudieras personalizar el producto ¿Qué cambios o mejoras sugerirías?*

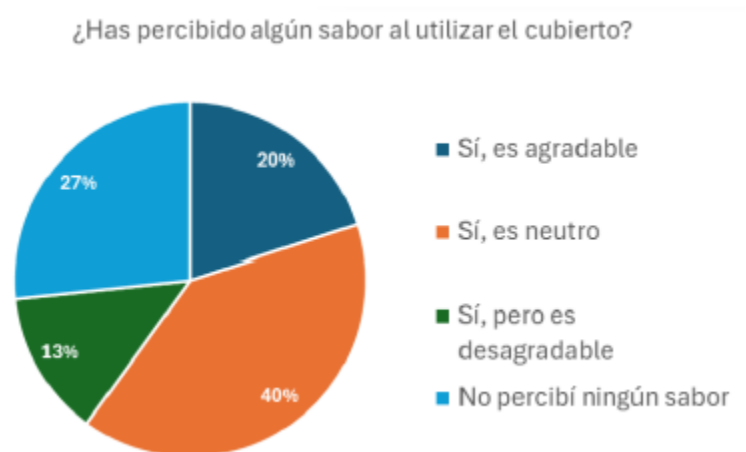


Nota. Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

Los datos de la Figura XX reflejan que el aspecto más valorado por los encuestados es la personalización de los colores, representando el 50% de las respuestas. Le sigue la textura con un 40%, lo que indica una importante preferencia por características sensoriales. Con estos resultados se infiere que las mejoras enfocadas en la apariencia visual y las propiedades táctiles podrían tener mayor impacto en la satisfacción del usuario.

- **Sabor percibido**

Figura 8 Reporte resultados encuesta pregunta: *¿Has percibido algún sabor al utilizar el cubierto?*



Nota. Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

La mayoría de los encuestados (40%) percibió un sabor neutro, mientras que el 27% afirmó no haber percibido ningún sabor. Un 20% consideró el sabor agradable, y un 13% expresó que el sabor percibido era desagradable. Estos resultados sugieren que, en general, la experiencia sensorial con el cubierto es mayormente aceptable, aunque existe una minoría que señala oportunidades de mejora en cuanto a la percepción de sabores indeseados.

Análisis de costos

Para el análisis de costos de la producción de cubiertos a base de cascarilla de cacao, se definió y se tuvo en cuenta los valores de materias primas, infraestructura y equipos.

Figura 9 Valores reportados, simulador financiero

Inversión Total	89.960,18
Inversión directa	35.054,750
Inversión indirecta	41.411,400

Nota. Elaboración propia.

Figura 10 Estimación ganancias, simulador financiero

VPN PRIMER AÑO (2025)	\$ 217.720.760,99
VPN PARA EL 2034	\$ 1.267.972.909,70

Nota. Elaboración propia.

El Valor Presente Neto (VPN) estimado para el primer año de operación (2025) asciende a \$217.720.760,99, mientras que para el horizonte proyectado hasta 2034 alcanza los \$1.267.972.909,70. Esto demuestra que el proyecto no solo es rentable desde el inicio, sino que su rentabilidad se incrementa significativamente a largo plazo. En comparación con una inversión total de \$89.960,18, desglosada en \$35.054,75 de inversión directa y \$41.411,40 de inversión indirecta, el retorno inicial es 2,42 veces la inversión, y al final del periodo proyectado, genera un retorno 14,09 veces mayor.

Esta relación entre inversión y retorno evidencia una sólida viabilidad económica del proyecto. La distribución entre inversión directa (39% del total) e indirecta (46% del total) refleja un enfoque balanceado. Además, el alto VPN acumulado resalta el potencial de generación de valor, siempre que se implementen estrategias eficaces para controlar los costos operativos y optimizar los procesos de manufactura y distribución.

Para asegurar el éxito financiero, es importante considerar otros factores como el costo de la logística, el precio de venta del producto, la demanda proyectada y los posibles gastos de certificación y marketing. Estos factores podrían influir en la sostenibilidad económica y en el tiempo de recuperación de la inversión. Este proyecto presenta una atractiva propuesta financiera, con retornos que justifican ampliamente la inversión inicial y un modelo de negocio que, de ser ejecutado 40 correctamente, podría consolidarse como una alternativa rentable y sostenible en el mercado de productos biodegradables.

Conclusiones

Gracias a los análisis microbiológicos realizados, donde presenta ausencia de patógenos, sin crecimiento microbiano.

El aprovechamiento de los subproductos del cacao, como la cascarilla, agrega valor a los residuos agroindustriales, generando nuevas fuentes de ingreso para los productores. Esta innovación fomenta la sostenibilidad, reduce el desperdicio y contribuye a la economía circular, beneficiando tanto al sector productivo como al medio ambiente.

Los prototipos fabricados cumplieron con los estándares de durabilidad y funcionalidad que se esperaban, demostrando su potencial para ser utilizados en aplicaciones prácticas.

Proyección

Se proyecta desarrollar prototipos de cucharas dosificadoras abarca varias posibilidades para optimizar el diseño, la funcionalidad y la sostenibilidad del producto con diferentes tamaños y formas para adaptarse a distintos productos en polvo como leche, café, proteína en polvo, especias, entre otros.

Referencias

- Application of plant products in the synthesis and functionalization of biopolymers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237(124174), 124174. Tomado de:
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124174>
- Babaremu, K., Oladijo, O. P., & Akinlabi, E. (2023). Biopolymers: A suitable replacement for plastics in product packaging. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. Tomado de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542504823000088?via%3Dihub>
- Balentic, JP, Ačkar, Đ., Jokic, S., Jozinovic, A., Babic, J., Miličević, B., ... Pavlovic, N.(2018). Cáscara de cacao: un subproducto con gran potencial para una amplia aplicación. *Moléculas*.MDPI. Tomado de:
<https://doi.org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.3390/molecules23061404>

- CAF (2020, 02 diciembre) *El cacao fino tiene ADN latinoamericano*. CAF. Tomado de: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2020/12/el-cacao-fino-tiene-adn-latinoamericano/>
- Casas. Y, Fuquen. L., Ramirez. D., Gomez. A.; (2020, 21 enero) AVANCES EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL: BIORREMEDIACIÓN DE PLÁSTICOS. Revistas Digitales universidad de Boyacá. Tomado de: file:///C:/Users/pracingprod/Downloads/Avances+en+biotecnologi%E2%95%A0%C3%BCa_Revista+I3++V4N2.pdf
- Carr, L. (2020, 19 marzo) Reducir la contaminación por plásticos de un solo uso: un enfoque unificado. Naciones Unidas. Tomado de: <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/reducir-la-contaminaci%C3%B3n-por-pl%C3%A1sticos-de-un-solo-uso-un-enfoque-unificado>
- ChocoLukeria (2022, 6 abril). Cacao Fino De Aroma » ChocoLukería | Para Los Amantes Del Chocolate. ChocoLukería. Tomado de: <https://chocolukeria.com/cacaofino/file:///C:/Users/prac-ing-prod/Downloads/Admin,+A+-+Art%C3%ADculo+FIAU+-+Collazos+Alarc%C3%B3nCasarilla+GRANO+DE+CACAO-pto..pdf>
- Courtney. L. (2024, 30 abril) Plásticos de un solo uso 101. NRDC. Tomado de: <https://www.nrdc.org/es/stories/plasticos-solo-uso-101#que>
- Ellen MacArthur Foundation. (2020). What is a Circular Economy? Tomado de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economyintroduction/Overview>
- Fernández, M. (2018). Validación de PCC de tostado de cacao en una planta de producción de chocolate. Universidad Javeriana. Tomado de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/39073/Ferna%CC%81ndez%20G%20Mateo.pdf?sequence=1&isAllowed=y&%3A%7E%3Atext=En%20la%20tabla%201%20se>
- García, A., Quintana, L., Moreno, E. (2022) Determinación del índice de grano y del porcentaje cascarilla de los genotipos de cacao regionales FSV41, FEAR5 y FLE2 y genotipo universal CCN 51. INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. Tomado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332022000200013&%3A%7E%3Atext=La%20testa%20o%20cascarilla%20es%20Cnoma%20NTC%201252%20de%202021
- Ibrahim ID, Hamam Y, Sadiku ER, Ndambuki JM, Kupolati WK, Jamiru T, Eze AA, Snyman J. (2022, 20 Octubre) Need for Sustainable Packaging: An Overview. Natural Library of Medicine. Tomado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9609329/>

- Khan Academy*. (2023). Introducción a las proteínas y los aminoácidos. Khanacademy.org. Tomado de: <https://es.khanacademy.org/science/biology/macromolecules/proteins-and-amino-acids/a/introduction-to-proteins-and-amino-acids>
- Las propiedades de la cascarilla de grano de cacao (2022, 2 septiembre). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Tomado de: <https://www.ciad.mx/las-propiedadesde-la-cascarilla-de-grano-de-cacao/>
- Lemos. A., Córdoba. A. (2015, 30 mayo) Polihidroxialcanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. *Revista SENA*. Tomado de: https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139/373
- Los plásticos son una preocupación climática y medioambiental creciente: ¿qué puede hacer Europa para invertir esa tendencia? (2023, 09 febrero). European Environment Agency. Tomado de: <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/los-plasticos-son-una-preocupacion>
- Mantilla, K., Bolaños, L., (2024). Desafíos y Oportunidades en la Comercialización de Empaques Biodegradables. *Revista Habitus: Semilleros de do investigación*, 3(6), e16979. Tomado de: <https://doi.org/10.19053/uptc.22158391.16979>
- Market, A. (2023). Biodegradable Cutlery Market Size, Share - Industry Forecast by 2030. Allied Market Research. Tomado de: <https://www.alliedmarketresearch.com/biodegradable-cutlery-market-A15217>
- Mejias-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., Galáan-Hernández, N. (2016, 11 noviembre) Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. Tomado de: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num6/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N6_4.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Ley 2232 de 2022*. Tomado de: https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/ley_2232_2022.htm
- Murillo-Baca, S., Ponce-Rosas, F., & Huamán-Murillo, M. (2020). Características fisicoquímicas, compuestos bioactivos y contenido de minerales en la harina de cáscara del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Manglar (Tumbes)*, 17(1), 67–73. Tomado de: <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/148/264>
- Nicolescu CM, Bumbac M, Buruleanu CL, Popescu EC, Stanescu SG, Georgescu AA, Toma SM. (2023, 20 marzo) Biopolymers Produced by Lactic Acid Bacteria: Characterization and Food Application. *Polymers (Basel)*. National Library of Medicine. Tomado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10058920/>

- ONU Medio Ambiente (2018). PLÁSTICOS DE UN SOLO USO: Una hoja de ruta para la sostenibilidad. ONU; Tomado de: <file:///C:/Users/pracingprod/Downloads/plasticosdeunsolouso.pdf>
- ONU. (2018, 17 febrero) Legal limits on single-use plastics and microplastics. Documentopdf. Tomado de: <https://www.unep.org/resources/report/legal-limits-single-use-plastics-andmicroplastics>
- Orozco, J. (2021). APROVECHAMIENTO Y TRANSFORMACIÓN DE LA CASCARA DE CACAO. Tomado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40165/jnorozcoc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Raffino, Equipo editorial, Etecé (2021, 5 agosto). Cacao. Enciclopedia Concepto. Tomado de: <https://concepto.de/cacao/>
- Ministerio de Salud y Protección Social, (2012, Marzo 28) Resolución 683 de 2012, Tomado de: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=46773>
- Rojo-Poveda O, Barbosa-Pereira L, Zeppa G, Stévigny C. (2020, 17 abril) Cocoa Bean Shell-A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *Nutrients*. Tomado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7230451/>
- Sasikanth, V., Meganathan, B., Rathinavel, T., Seshachalam, S., Nallappa, H. y Gopi, B. (2024). Descripción general de los biopolímeros: estructura y propiedades. *Physical Sciences Reviews*, 9 (4), 1857-1883. <https://doi.org/10.1515/psr-2022-0214>
- Teneda W., Guamán M. & Oyaque S.; (2019, 30 noviembre). Exploración de la intención de consumo de la Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) como infusión: caso Tungurahua-Ecuador. *Cuadernos de Contabilidad*, 20(50). Tomado de: [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CC/20-50%20\(2019\)/151561447004/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CC/20-50%20(2019)/151561447004/)
- Tharanathan, RN (2003) Películas biodegradables y recubrimientos compuestos: pasado, presente y futuro. *Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos*, 14, 71-78. Tomado de: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Torras. (2023, agosto 17). Cascarilla de Cacao: Qué es y cómo se usa. Torras. Tomado de: <https://chocolatestorras.com/cascarilla-de-cacao/>
- Tusino, A. (2021, Febrero 26). Cómo cambiar la forma en que pensamos y utilizamos los plásticos de un solo uso puede ayudar a las personas y a la naturaleza. WWF. Tomado de: <https://www.worldwildlife.org/stories/how-changing-the-way-we-think-about-and-use-single-use-plastics-can-help-people-and-nature>

Vergara, C. (2023, diciembre 12). La Anatomía del Cacao. ÓBOLO Chocolate. Tomada de:
<https://obolochocolate.cl/blogs/aprender/la-anatomia-del-cacao?srsid=AfmBOor4B0wryTGYrNIBz2ODBu4AGtptz9QcWKnNkZZ6M17gZqZ6t-ec>