

“DESARROLLO DE LA CUCHARITA DE NUCITA POR MEDIO DEL EMPLEO DE
BIOPLASTICOS”

JOSÉ NICOLÁS MANTILLA GONZÁLEZ

ESTUDIANTE DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

JUAN JOSÉ TORRES TORRES

ESTUDIANTE DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD EAN

PROYECTO DE GRADO

BOGOTÁ D.C.

6 DE DICIEMBRE DE 2024

“FORMULACIÓN DE LA CUCHARITA DE LA NUCITA UTILIZANDO BIOPLASTICOS”

JOSÉ NICOLÁS MANTILLA GONZÁLEZ

ESTUDIANTE DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

JUAN JOSÉ TORRES TORRES

ESTUDIANTE DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

LUISA FERNANDA CARVAJAL DÍAZ

DOCENTE DE PROYECTO DE GRADO

UNIVERSIDAD EAN

PROYECTO DE GRADO

BOGOTÁ D.C.

6 DE DICIEMBRE DE 2024

Tabla de contenido	
Tabla de ilustraciones	5
Lista de tablas	6
I Introducción	7
II Planteamiento del problema	10
III Justificación	12
IV Objetivos	14
4.1 Objetivo general	14
4.2 Objetivos específicos	14
V Análisis de requerimientos	15
VI Marco de referencia	16
6.1 Contexto ambiental colombiano	16
6.2 Bioplásticos: Concepto, características e impacto ambiental	18
6.3 Polímeros a partir del compostaje: Concepto, características, procesos y posibilidad de inyección	20
6.4 Polímero de ácido láctico (Polylactic acid): Propiedades, facilidad de inyección, países que lo utilizan industrialmente, historia, producción u obtención	21
6.5 Proceso de inyección	23
VII Análisis de restricciones para el proyecto	24
7.1 Restricciones políticas	24
7.1.1. Situación contextual.	24
7.1.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el proyecto.	25
7.2 Restricciones económicas	26
7.2.1. Situación contextual.	26
7.2.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.	27
7.3 Restricciones sociales	28
7.3.1. Situación contextual.	28
7.3.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.	29
7.4 Restricciones técnicas	30
7.4.1. Situación contextual.	30
7.4.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.	31
7.5 Restricciones ambientales	32
7.5.1. Situación contextual.	32
7.5.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.	32
7.6 Restricciones legales	33

7.6.1. Situación contextual.	33
7.6.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.	33
VIII Metodología.....	34
IX Resultados	35
9.1 Primera fase.....	35
9.1.1. Resultados económicos.....	35
9.1.2. Resultados de la propuesta.	36
9.2 Segunda fase	38
9.2.1. Resultados económicos.....	38
9.2.2. Resultados de la prueba.	39
9.3 Tercera fase.....	40
9.3.1. Resultados económicos.....	40
9.3.2. Resultados de la prueba.	41
X Conclusiones	42
Referencias bibliográficas	43

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Comparación de costos asociados a la adquisición de la materia prima	35
Ilustración 2 Grafico de propiedades para la materia prima convencional con respecto a las alternativas de PLA.....	37
Ilustración 3 Especificaciones dimensionales molde de la cuchara nucita para inyección a escala de laboratorio (mm)	39
Ilustración 4 Molde virgen para la cuchara nucita en fibra de carbono.....	40

Lista de tablas

Tabla 1 Tabla de propiedades para la materia prima convencional con respecto a las alternativas de PLA	36
Tabla 2 Resultados del proceso inicial de calentamiento	41
Tabla 3 Resultados del vertimiento y llenado de molde.....	42

I Introducción

Desde mediados del siglo XX, los plásticos han tenido una producción y un consumo generalizado debido a que sus propiedades de versatilidad, flexibilidad y procesos relativamente simples de tratamiento permiten la elaboración de diversos productos. A esto se suma el crecimiento demográfico exponencial, lo que contribuye a un aumento de la demanda global. Para ejemplificar lo anterior, se estima que, dentro de 34 años, la cantidad de plástico producida será de 400 millones de toneladas. Por lo anterior, el plástico actual se considera un contaminante ambiental prioritario por su acumulación y posibles procesos de lixiviación y formación de microplásticos. Como alternativa, se ha planteado el uso de los bioplásticos, que son polímeros que pueden ser biodegradables o no biodegradables sintetizados a partir de fuentes vegetales o biológicas y, en un tercer caso, polímero biodegradables de fuentes fósiles. Tomando en cuenta la mención de las fuentes fósiles, los bioplásticos también han surgido como alternativa debido al inminente agotamiento de los combustibles fósiles. El desempeño ambiental de los bioplásticos demanda evaluar la fuente de procedencia, el tipo de polímero y la categoría de impacto, es decir, el tipo de consecuencia a mitigar, la metodología de investigación y gestión de residuos.

Actualmente, la falta de información y conocimiento profundo dificulta la toma de decisiones sobre la aplicación de bioplásticos. Enriquecer el conocimiento y la metodología de investigación en las 5 categorías mencionadas considerando aumentar sus aplicaciones para comparar con ecotoxicidad y compuestos liberados durante la degradación entre plásticos tradicionales y bioplásticos. Para ejemplificar la importancia de lo anterior, se tienen estudios de caso que sugieren que los bioplásticos pueden ser tan nocivos como los plásticos tradicionales debido a que su degradación rápida genera microplásticos a un mayor ritmo, lo que demanda un tipo de gestión de residuos, por lo que se requiere de nueva información para un mejor discernimiento entre las posibles materias primas que representan los bioplásticos. Para finalizar, el PLA y los biopolímeros de almidón son lo más investigados. (Afshar., 2024).

Dentro de los bio polímeros más estudiados, el PLA es el que registra un mayor número de aplicaciones industriales. Inicialmente, hay que tener en cuenta que la cadena de suministro del PLA demanda menos transporte y las emisiones de gases de efecto invernadero con mínimas. El PLA presenta propiedades mecánicas y físicas a la fibra de vidrio y reforzado también tiene una amplia gama de aplicaciones industriales conservando los aspectos de biodegradabilidad y

reciclabilidad. El PLA también es apto para los moldeos por inyección, pero como materia prima demanda ciertas condiciones de almacenamiento y de tratamiento para evitar los costos de procesos extra como la adición de retardantes de llama y la adición de compuestos alcalinos para evitar la absorción de agua, pues bajo ciertas mezclas llega a ser inflamable y cuanto más aumenta el contenido de fibra de PLA mayor es la absorción de agua. (Llyars et al., 2021).

La aptitud del PLA para emplearse como materia prima biodegradable en la industria se ha visto limitada por los altos costos de producción. La optimización de la producción para la reducción de los costos se ha centrado en los estudios de la cinética de las posibles reacciones de sinterización del polímero dando resultados satisfactorios al punto de establecer plantas pequeñas de producción en algunos países desarrollados. Para ejemplificar, se han hecho avances de catalizadores efectivos para disminuir el ciclo de cristalización. Estos resultados, aunque permiten la reducción del tiempo y costos de producción, no comprometen la calidad de la materia prima, pues la información técnica de las propiedades físicas ha sido similar a la de las materias primas actuales, como el polipropileno, que se usan en los procesos de manufactura que requieren cortes, ondulamiento, resistencia a la filtración, termosellado, soplado, extrusión y formación de espuma. Para concluir, la evidencia de la producción controlada de PLA es una de las razones junto con la biodegradabilidad, que posicionan al PLA como una materia prima apta. (Drumright et al., 2024).

En cuanto al moldeo por inyección, los bio compuestos también son susceptibles a déficits de resistencia debido a la humedad, temperatura, aglomeraciones y porosidades. En la mayoría de los casos, las mezclas y las matrices son heterogéneas y arriesga que el material no cumpla con los requerimientos de fluidez para el moldeo por inyección desde la perspectiva de la calidad de la materia prima. El resultado, son defectos críticos en la superficie de los productos que comprometen la funcionalidad del producto. (Fadzly et al., 2021). Otros avances en la fabricación de envases para alimentos basados en PLA incluyen la adición de películas antibacterianas para la conservación de alimentos. Los estudios actuales han evidenciado que el PLA contribuye a la conservación de gases debido al efecto barrera que proporciona, a lo que se agrega que también es compatible con ciertas películas fibrosas antibacterianas a base de PLA u otros compuestos que no comprometen las propiedades físicas del material las cuales, como también es sabido, son aptas para los procesos de moldeo por inyección. Por lo tanto, el PLA se consolida como una materia

prima que cumple con la funcionalidad del producto previene la corrupción de los alimentos y es apto para ofrecer entornos antibacterianos. (Shao et al., 2022).

II Planteamiento del problema

Actualmente, se utilizan materiales plásticos obtenidos de los procesos de los compuestos fósiles en los procesos de inyección para producir diversos productos. Algunos productos tienen una composición específica con porcentajes de plásticos y pigmentos, pero otros se fabrican con un solo material. A estos últimos productos se les denomina productos de composición original. Uno de estos productos de composición original ha sido solicitado en un bio plástico debido a las nuevas tendencias de mercado y políticas medioambientales que buscan retirar gradualmente los plásticos provenientes de compuestos fósiles mientras se involucran productos hechos a partir de materias primas provenientes de compuestos naturales debido a los cambios en las tendencias de los consumidores y las iniciativas que han posicionado a los bio plásticos como alternativas a las materias primas actuales.

La implementación de nuevas materias primas exige definir y resolver los aspectos técnicos de la producción. En el presente trabajo se trata el polímero de ácido láctico o PLA como alternativa al poliestireno de alto impacto. Pese a la investigación, documentación, procesos y productos realizados a partir de esta alternativa, para implementar una prueba piloto para definir la adopción del nuevo material como materia prima en planta se requiere analizar aspectos técnicos que dan valor agregado a los productos cumpliendo con los estándares de calidad aceptados. En lo técnico, se comparan las propiedades físicas y químicas entre la materia prima alternativa y la convencional para conocer la compatibilidad con las máquinas de inyección para el producto, ya que, a partir de la densidad, la viscosidad y la dureza, se obtiene la proyección del riesgo y posible daño en los dispositivos.

Debido a que las propiedades mencionadas anteriormente para el PLA y poliestireno de alto impacto difieren en los valores, se debe considerar los atributos especificados por el cliente para determinar si el producto obtenido es útil o no. Tomando en cuenta los aspectos técnicos anteriormente mencionados, se debe contar con la información técnica de la tolerancia de los atributos de los productos que son aceptados por los equipos para disminuir el riesgo de daño a los equipos y la calidad del producto terminado. Para ejemplificar lo anterior, se tienen los ajustes en la temperatura de funcionamiento, una viscosidad y una dureza alta puede aumentar el riesgo de ruptura en la hélice del tornillo inyector mientras que una disminución significativa en estas propiedades puede implicar excesos de materiales calientes o fríos en el producto final. Así mismo,

una densidad mayor puede implicar que para un mismo producto (mismo molde inyección y, por lo tanto, mismo volumen) se obtenga un mayor peso. Los anteriores ejemplos tienen consecuencias directas sobre los ajustes necesarios para el funcionamiento de las máquinas inyectoras y sobre los aspectos técnicos especificados por el cliente para considerarlos como funcionales o no.

En síntesis, hay un problema que comprenden los cambios en las materias primas por tendencias sostenibles actuales, junto con la viabilidad técnica y económica que representa una transición de materiales, por lo que para evaluar la viabilidad se requiere conocer las operaciones para determinar los riesgos y oportunidades del producto solicitado, y el análisis de las propiedades físicas y químicas aplicables a los procesos actuales de forma que no impliquen costos adicionales elevados.

III Justificación

Actualmente, los productos plásticos de un solo uso causa de un problema ambiental de acumulación de materiales con múltiples consecuencias para la salud humana y la fauna, y una importante reducción del espacio en los ecosistemas. Por el bajo ritmo de descomposición de los plásticos derivados de los combustibles fósiles, y se suma la cultura de los productos de un solo uso que contribuye a la producción continua de estos, se presenta la acumulación de materiales genera la reducción de espacios ambientales en cuanto habitabilidad, alimentación, reproducción y correcto desarrollo de las relaciones entre organismos y especies. Sumado a esto, el desprendimiento de micro plásticos en el ambiente genera que estos lleguen a los cuerpos de los organismos al consumirlos directamente o durante el consumo de presas contaminadas, contaminantes que llegan al organismo de las personas al consumir animales que presentan cierto grado de contaminación. En consecuencia, las políticas económicas de algunas naciones buscan soluciones a la acumulación de materiales.

Ante la problemática de la acumulación de materiales, los materiales de origen natural se han posicionado como la solución para esta consecuencia ambiental. Los bio polímeros mezclados con polímeros de origen fósil se mezclan para producir los bio plásticos en forma de gránulos que puedan emplearse en los procesos actuales. Dentro de los bio plásticos más estudiados se encuentra el Polímero de ácido láctico (PLA). Aunque los materiales de origen natural no contribuyen a solucionar la cultura de un solo uso durante el consumo de plásticos, la rápida degradabilidad y descomposición hace que estos materiales se descompongan fácilmente en condiciones ambientales o bajo condiciones controladas en las industrias que consumen materiales recuperados o post consumo. En consecuencia, a pesar de que los productos no se reutilicen, la nueva materia prima no representa riesgo de acumulación a largo plazo.

En cuanto a la viabilidad del PLA en los procesos de inyección, el PLA también tiene competitividad tecnológica. Los productos obtenidos por la inyección se documentaron en la literatura y los resultados industriales comprobados por los proveedores de la materia prima de origen natural empleando máquinas convencionales para la inyección de plásticos granulados y resinas obtenidas de combustibles fósiles. Según la experiencia y los resultados empíricos, el PLA no representa riesgo para las inyectoras empleada en la empresa por las condiciones de trabajo y ajustes requeridos para el producto en una mezcla 100% de material de rápida degradabilidad, pues

el tornillo de inyección no es significativo como para considerar daños significativos por las propiedades de la fluidez, dureza, fundición e inyección. El PLA es apto para su uso en la producción de la empresa en cuestión.

Considerando lo anterior, también se considera que el PLA no significa más inversión en equipos porque las maquinas actuales se pueden ajustar a las condiciones de procesamiento del material. Esto, en consecuencia, reduce el riesgo económico para la empresa al no invertir en nuevos equipos o máquinas debido a la incorporación de una nueva materia prima. Pues, hay que tener en cuenta que la inversión en nuevos equipos estaría sujeta a ser solo un costo dependido de los resultados de las pruebas piloto, pues de estos dependen las decisiones acerca del rendimiento de la materia prima como alternativa sostenible ambiental y económicamente viable para la empresa.

Por último, como aspecto de ventaja para la aplicación de PLA en los procesos de inyección de la industria del plástico, se tiene las contribuciones en el posicionamiento de la empresa en el mercado. Actualmente, varios clientes demandan productos más sostenibles porque cada vez se busca sacar los plásticos de baja degradabilidad del mercado por las nuevas políticas ambientales y la preocupación por el agotamiento de combustibles fósiles para producir los materiales convencionales. La incorporación de una materia prima de origen natural, como los biopolímeros en general, puede otorgar a la empresa una posición diferenciadora en el mercado en cuanto a la competencia, no solo debido al cumplimiento de los requerimientos del cliente sino a la posible atracción de otros clientes interesados en la producción sostenible enfocada en la responsabilidad ambiental. Además, el uso de biopolímeros contribuye a la reducción de la huella de carbono, lo que es cada vez más valorado por los consumidores y las regulaciones internacionales que promueven la sostenibilidad en la industria del plástico.

IV Objetivos

4.1 Objetivo general

- Formular **una cuchara para dulce de cremoso implementando una nueva materia prima para cumplir con las exigencias ambientalmente sostenibles.**

4.2 Objetivos específicos

- Definir los requerimientos necesarios en los procesos para la nueva materia prima en la planta.
- Ejecutar los ensayos de inyección de PLA en las máquinas actuales de la planta por medio de una prueba piloto realizada en una sola de las máquinas con el propósito de evaluar la eficiencia del proceso y la calidad del producto obtenido aplicando la nueva materia prima.
- Analizar el resultado de las operaciones productivas del producto demandado en un nuevo material antes y después de la aplicación de la nueva materia prima.

V Análisis de requerimientos

El análisis de requerimientos es el proceso por el que determinan las necesidades de los actores interesados para tener un patrón estándar de calidad, dimensionalidad y funcionalidad, del producto obtenido. (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2020). Aquí se muestra la lista de los requerimientos para este proyecto.

- Obtención y revisión de documentos necesarios para la evaluación de las propiedades de la materia prima propuesta. Los documentos primordiales al momento de solicitar la información a los proveedores dependen del proceso de destino y del producto. Todas las materias primas deben contar con el certificado de calidad vigente y la ficha técnica para comparar y asegurar que las propiedades y atributos especificados en ambos documentos coincidan o sean similares si no compromete la integridad de los equipos, la seguridad del proceso y la calidad del producto. Debido a que la materia prima propuesta se trata de una sustancia química, se debe contar la hoja de seguridad. Como esta formulación es un producto destinado al contacto con alimentos, se debe contar con la reglamentación alimentaria especificada por la empresa y aceptada por el cliente para cumplir las condiciones sanitarias.
- Investigación en las operaciones. Inicialmente, se tienen las operaciones de la evaluación y las proyecciones de la demanda. Para evaluar la demanda de materias primas se necesita un histórico de datos de la cantidad de material consumido diariamente para determinar la relevancia del consumo. También es importante tener los datos históricos de la producción demandada por el cliente para analizar la relevancia comercial y técnica del producto. Es decir, cuando la oferta y el tiempo de funcionamiento de la máquina inyectora es lo alta, la rentabilidad de la incorporación y pertinencia del estudio de requerimientos para la incorporación de una materia prima alternativa es mayor.
- Viabilidad económica. Para el análisis de costos, se debe tomar en cuenta los costos relacionados a la materia prima y los costos indirectos de fabricación. Las propiedades de la materia prima pueden influir en los costos relacionados a la temperatura empleada para la inyección cuando se funden a una temperatura menor a la temperatura actualmente empleada, lo que se traduce en un ahorro económico en cuanto al uso de la energía. Por otra parte, el costo asociado a las materias primas incluye el costo del material y los costos de transporte y aranceles tomando en cuenta que el PLA no es manufacturado en Colombia

y por lo tanto debe importarse. En caso de incorporar una materia prima alternativa que debe importarse, como es el caso del presente proyecto, se debe considerar la capacidad económica para mantener sosteniblemente la compra del material respondiendo al ritmo de producción del producto demandado en nuevo material por el cliente y a la demanda de materias primas según el consumo para cumplir con la cantidad a producir. Por otra parte, para la realización de una práctica de laboratorio acerca de un proceso de inyección a pequeña escala, se deben considerar los costos asociados a la compra del material y a los materiales necesarios para el proceso de inyección a pequeña escala, lo cual involucra la preparación térmica del material, la inyección a presión del material, el enfriamiento del material y las pruebas de calidad.

- Molde adecuado para la inyección a pequeña escala. El molde debe tener las especificaciones dimensionales del producto a elaborar asegurando la especificación del peso del producto. Así mismo, el molde debe resistir la presión de inyección y la temperatura del material durante el proceso sin sufrir daños considerables.
- Mufla. La mufla permite un calentamiento uniforme debido a que para la inyección de plásticos se requiere que el material se caliente de forma uniforme a fin de disminuir la presencia de material granulado que pueda quedar en el producto final debido a una disminución repentina de la temperatura o, por otro lado, la presencia de excesos de material fundidos que se puedan reflejar en el producto final en forma de natas.
- Lubricante a base de aceite. Este lubricante es necesario para facilitar el proceso de desmolde de la cuchara una vez esté terminada, así, se minimiza el riesgo de ruptura al momento de ejercer presión.

VI Marco de referencia

6.1 Contexto ambiental colombiano

Desde comienzos del siglo XXI, la creciente preocupación por el cambio climático ha generado que las cortes internacionales definan protocolos y elaboren esquemas de prácticas especialmente dirigidas al calentamiento global, ante los cuales Colombia no es una excepción. En Colombia también se han formulado normas cada vez más elaboradas para que el medio ambiente se pueda defender jurídicamente. La primera ley que trató los temas relacionados con el cambio climático fue la ley 164 de 1994, que pretendía cumplir con la convención del marco de las

Naciones Unidas sobre el cambio climático, en la que se estipulaba que era un problema al que se debía enfrentar, pero solo permitía que los países desarrollados invirtieran en los países en desarrollo, seguidamente la ley 629 de 2000 incluía el protocolo de Kioto, que establecía que, ya que las emisiones de gases de efecto invernadero eran por actividades humanas, cada país involucrado no excede las emisiones de gases de efecto invernadero. Finalmente, con la ley 1523 de 2012 se crea la UNGRD que considera al cambio climático en la prevención de desastres y con la ley 1715 de 2014 se crean los lineamientos que articulan las políticas internas y externas para combatir el cambio climático incluyendo un modelo industrial.

Así, en Colombia los intereses públicos son los que han promovido las normativas y acciones en favor del medio ambiente, por lo que Colombia cada vez se ha comprometido con los resultados internacionales. Para ejemplificar los avances de Colombia en materia medioambiental, el río Atrato y el río Amazonas han sido declarados objeto de derechos al declararse personalidades jurídicas por parte de jueces ambientales, lo que ejemplifica la participación de la rama judicial frente a la naturaleza como forma de reparación a los daños ambientales presentados en el país. Sin embargo, es fundamental una mayor exigencia en las legislaciones con las que Colombia se ha comprometido a cumplir con los objetivos internacionales. (García et al., 2021)

Como las acciones ambientales de Colombia abarcan tanto el componente industrial como tecnológico y los 3 pilares de la sostenibilidad para cumplir con los objetivos de mitigación de daños, es fundamental la relación entre la Responsabilidad Social Empresarial y el manejo de los residuos plásticos, ya que es una de las principales causas de efectos ambientales negativos que busca mitigar la búsqueda de nuevas materias primas. Para la correcta articulación, debe existir una metodología sistemática para el tratamiento de residuos entre los colaboradores al interior de la industria puesto que las empresas, al componer las cadenas de suministro, también componen la cadena de adquisición. Considerando lo anterior, una mala cultura empresarial puede afectar el resto de las prácticas de la cadena de producción y adquisición de bienes y servicios en cuanto a la disposición de plásticos porque se afecta el pilar ambiental de la sostenibilidad profundamente. (Calderón, 2023). Así mismo, resulta fundamental la intervención estatal debido a que los *contaminantes* no pretenden reparar sus acciones debido a la carencia de una motivación financiera ya que así es posible armonizar los intereses de las empresas y personas con los del sector público

equilibrando los costos sociales, económicos y ambientales, pues los mercados por sí solos no son suficientes. (Chiquillo, 2022).

En cuanto a las acciones propuestas por el Ministerio de Minas y Medio Ambiente, se enfocan al tratamiento de los productos elaborados a partir de plásticos de un solo uso y las prioridades transversales a las que hay que solucionar para cumplir el objetivo del primer grupo de acciones. Primero, para tratar los productos elaborados con plásticos de un solo uso, desde el ministerio se estableció un plazo para que las empresas distribuyan y comercializaran los productos actuales elaborados en materiales compostables o rediseñados para ampliar su vida útil, y un tiempo para la investigación y desarrollo de productos que cumplan con las normativas ambientales. También se establece como objetivo incentivar en los establecimientos la sustitución de empaques para alimentos y bebidas por materiales diseñados para poder reutilizarse. Estas acciones se extienden a los materiales empleados en los domicilios para cubrir a los actores involucrados en la distribución y adquisición de alimentos con incentivos para investigaciones públicas y privadas. Lo anterior conlleva a la estrategia para la gestión del cambio en cuanto a los etiquetados en el mercado, comunicación y cultura ciudadana, protección de las reservas naturales frente a los plásticos de un solo uso, ecodiseños nuevos, fomento al comercio sostenible y gestión del conocimiento. (Dirección de asuntos ambientales, sectorial y urbana, 2019).

Sumado a lo anterior, desde el plan que establece la normativa se encuentra la responsabilidad extendida el productor física y económicamente para el tratamiento posconsumo de los productos elaborados a partir de los plásticos de un solo uso. Bajo este panorama, los productores deben realizar la correcta trazabilidad mediante la implementación y actualización de los informes del Plan de Gestión Ambiental para plásticos de un solo uso establecido desde la implementación de nuevas materias primas hasta la cadena de suministro de alimentos y empaques iniciando con el seguimiento a los proyectos piloto para avalar los esquemas y, finalmente, a partir de los resultados de las empresas productoras, proponer los ajustes para llegar a un estilo de vida más sostenible en Colombia. (Mesa nacional para la gestión sostenible del plástico, 2021)

6.2 Bioplásticos: Concepto, características e impacto ambiental

Los bioplásticos son materiales poliméricos derivados de fuentes renovables, diseñados para ofrecer una alternativa sostenible a los plásticos convencionales de origen petroquímico. Estos innovadores materiales se obtienen de biomasa, como almidón, celulosa, proteínas y otros

compuestos orgánicos vegetales o animales. Las características de los bioplásticos son diversas y varían según su composición específica. En general, presentan propiedades mecánicas y térmicas comparables a los plásticos tradicionales, aunque pueden requerir modificaciones para mejorar su resistencia y durabilidad. Una característica distintiva es su biodegradabilidad, que permite su descomposición en condiciones ambientales adecuadas, aunque el grado y la velocidad de degradación pueden variar significativamente entre diferentes tipos de bioplásticos.

Desde una perspectiva ambiental, los bioplásticos ofrecen ventajas potenciales, pero también presentan desafíos. Por un lado, su producción a partir de recursos renovables reduce la dependencia de combustibles fósiles y puede disminuir la huella de carbono asociada a la fabricación de plásticos. Además, su biodegradabilidad puede mitigar la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente. Sin embargo, es crucial considerar el ciclo de vida completo de estos materiales. La producción de bioplásticos puede competir con cultivos alimentarios por tierra y recursos, y su biodegradación inadecuada puede generar microplásticos o contribuir a emisiones de metano en vertederos. Es importante destacar que el impacto ambiental de los bioplásticos depende en gran medida de su gestión al final de su vida útil. La implementación de sistemas de compostaje industrial y la educación del consumidor sobre la correcta disposición de estos materiales son fundamentales para maximizar sus beneficios ambientales. Asimismo, la investigación continua en el campo de los bioplásticos busca optimizar sus propiedades y procesos de producción para minimizar las consecuencias ambientales negativas y mejorar su viabilidad como alternativa sostenible a los plásticos convencionales.

A partir de la definición e introducción a los bioplásticos, en este punto es importante diferenciar los bioplásticos de los biopolímeros. Inicialmente, los bioplásticos pertenecen al grupo de los biopolímeros, pues este último comprende las sustancias sintetizadas a partir de la unión de monómeros de sustancias que se presentan naturalmente en los organismos y en la naturaleza. Cuando estos polímeros naturales se modifican, se obtienen los bioplásticos que, pese a conformarse principalmente de sustancias naturales, contiene también cantidades de plástico convencional para mejorar las propiedades y ampliar su rango de aplicaciones. El resultado, es un material similar a los plásticos convencionales en sus propiedades y aplicaciones, pero con un mayor grado de biodegradabilidad. (Rodríguez et al., 2021).

Estos bioplásticos que poseen propiedades similares a los plásticos derivados de combustibles fósiles para poder aplicarse en los mismos procesos, si bien son de base biológica, no necesariamente son biodegradables debido a que su descomposición no es naturalmente pasiva. Ahora bien, el ritmo de descomposición es de tan solo el 0.5% del tiempo total que los plásticos convencionales, un aspecto que se suma a las razones para que los bioplásticos continúen posicionándose como alternativa. Lo anterior configura un escenario de posible impulso y desarrollo tecnológico, rural y social para los países tropicales, como los países latinoamericanos del Caribe, debido a la amplia disponibilidad de recursos naturales y agrícolas. (Arboleda et al., 2021)

6.3 Polímeros a partir del compostaje: Concepto, características, procesos y posibilidad de inyección

Los polímeros obtenidos a partir del compostaje, también conocidos como polímeros derivados de compost, representan una innovadora categoría de materiales que se producen mediante la valorización de residuos orgánicos. Estos polímeros se obtienen a partir de la biomasa resultante del proceso de compostaje, que incluye muchos materiales orgánicos descompuestos. Estos polímeros son modificados con aditivos de compost, un ejemplo de esto son los compuestos de almidón termoplástico reforzados con fibras de compost. Estos materiales se caracterizan por su biodegradabilidad y su origen renovable, lo que los posiciona como alternativas prometedoras a los plásticos convencionales. Las características de estos polímeros varían según su composición específica, pero generalmente presentan propiedades mecánicas moderadas, resistencia térmica limitada y una alta afinidad por la humedad. Su biodegradabilidad es una característica distintiva, permitiendo su descomposición en condiciones de compostaje controladas. Además, estos materiales suelen exhibir una baja toxicidad y una huella de carbono reducida en comparación con los plásticos derivados del petróleo.

El proceso de obtención de polímeros a partir del compostaje involucra varias etapas. Inicialmente, se realiza un compostaje controlado de residuos orgánicos seleccionados. Posteriormente, se extraen y purifican los compuestos poliméricos presentes en el compost maduro, utilizando técnicas como la extracción con solventes o la separación mecánica. Estos compuestos se procesan luego mediante técnicas de polimerización o modificación química para

mejorar sus propiedades. En algunos casos, se combinan con otros biopolímeros o aditivos para optimizar sus características.

En cuanto a la inyección, muchos de estos polímeros pueden ser procesados mediante técnicas de moldeo por inyección, aunque pueden requerir modificaciones o el uso de aditivos para mejorar su procesabilidad. La inyección de polímeros derivados del compostaje presenta desafíos específicos, como la sensibilidad térmica y la variabilidad en las propiedades del material. Sin embargo, la investigación continua en este campo está desarrollando formulaciones y técnicas de procesamiento adaptadas para superar estas limitaciones.

6.4 Polímero de ácido láctico (Polylactic acid): Propiedades, facilidad de inyección, países que lo utilizan industrialmente, historia, producción u obtención

El ácido poliláctico (PLA) es un biopolímero termoplástico derivado de recursos renovables, principalmente del almidón de maíz, yuca o caña de azúcar. En las últimas décadas, este material ha ganado gran atención por sus propiedades biodegradables y su potencial como sustituto de plásticos convencionales en varias aplicaciones. El PLA se caracteriza por su versatilidad y propiedades mecánicas comparables a algunos plásticos tradicionales. Presenta una alta resistencia a la tensión y módulo de elasticidad, buena transparencia, y barrera al oxígeno. Sin embargo, su elongación a la rotura es relativamente baja, lo que puede limitar su uso en aplicaciones que requieren alta flexibilidad. El PLA es biodegradable en condiciones de compostaje industrial, aunque su degradación en el medio ambiente natural es más lenta. Además, posee una baja toxicidad y es biocompatible, lo que lo hace adecuado para aplicaciones médicas y de envasado de alimentos. Este, se presta bien al proceso de moldeo por inyección, aunque requiere algunas consideraciones específicas. Su temperatura de procesamiento es más baja que la de muchos termoplásticos convencionales, lo que puede resultar en un menor consumo de energía. Sin embargo, es sensible a la degradación térmica, por lo que es crucial controlar cuidadosamente la temperatura y el tiempo de residencia en la máquina de inyección. La cristalización del PLA durante el enfriamiento puede afectar las propiedades finales del producto, por lo que a menudo se utilizan aditivos nucleantes para controlar este proceso.

El PLA posee propiedades de funcionalidad y biodegradabilidad que lo hacen aplicable a varios procesos, pero su baja resistencia a la tracción y fragilidad y su baja producción limitan la migración a procesos para sustituir los plásticos convencionales de un uso. Como el PLA es uno

de los bioplásticos más utilizados, múltiples investigaciones sugieren usar otros biopolímeros dentro de matrices hechas de PLA. Una de las opciones por su abundancia y propiedades mecánicas y térmicas es la celulosa. Los resultados muestran que la unión presenta una disminución de propiedades mecánicas y térmicas debido a la baja compatibilidad química entre ambos compuestos mientras el módulo de tracción aumenta. Debido a lo anterior, se concluye una mejora en la rigidez del material y se ve favorecida con la radiación UV, calor y humedad. (Cárdenas et al., 2023). En conclusión, las propiedades con las que cuenta el PLA inherentemente lo hacen apto para las aplicaciones de embalajes de alimentos y bebidas, para emplearse como fibras sintéticas debido a su propiedad de ser humectante, soportes en la industria médica, productos desechables y actualmente se investiga su aplicación en la elaboración de claraboyas, aunque es de resaltar su versatilidad para formar otros compuestos complejos para ampliar el rango de aplicaciones. (Rampérez, 2021).

La producción de bioplásticos representa solo el 1% de toda la producción global de plástico anualmente, que es de aproximadamente 368 millones de toneladas. La producción de bioplásticos ha tenido un aumento considerable, especialmente el PLA y el PHA. Las propiedades del PLA en cuanto a resistencia mecánica y resistencia térmica han generado un aumento de la demanda del PLA por la industria alimenticia específicamente para frutas y lácteos, una industria que lo ha convertido en el primer biomaterial en ser comercializado a gran escala. En este punto es importante mencionar que dicha magnitud de mercado no se debe solo a la amplia gama de productos para los cuales se destina con el fin de almacenaje y conservación, sino también a la amplia gama de procesos en los que es aplicables, que abarcan desde inyección, termoformado, extrusión y soplado. (Chico & Sampedro, 2022). Por lo que respecta a la historia del mercado del PLA, el PLA se ha empleado como material desde 1932 siendo producidos por empresas como Dupont cuando Wallace Carothers desarrollo un método de síntesis para obtener un material de baja densidad y posteriormente lo hizo la empresa Carguill. La producción de PLA continuó en aumento, pero nunca alcanzando los niveles registrados por los plásticos convencionales de base petroquímica. Por poner un ejemplo, en el año 2021 se produjeron a nivel global 460.000 toneladas métricas. En la actualidad, los países líderes en la producción de PLA son Estados Unidos, Tailandia y China, los cuales buscan contantemente nuevas formas de síntesis de PLA empleando biotecnología e integrando cadenas de residuos orgánicos y agrícolas para obtener una fuente de azúcares fermentables que contribuya con la sostenibilidad ambiental y productiva a largo plazo.

Lo anterior en virtud de que el PLA sea más competitivo mercantilmente. (Camposano & Riera, 2022)

6.5 Proceso de inyección

La inyección es, actualmente, el proceso más común para la elaboración de piezas complejas en plástico. El proceso consta de 4 fases: Plastificación, inyección, enfriamiento y expulsión. El proceso comienza cuando el material plástico granulado, que puede ser de un solo tipo o una mezcla de materiales que incluye materiales plásticos y colorantes, ingresa a la máquina inyectora por gravedad mediante una tolva a la máquina inyectora. El fondo del cilindro de la tolva se calentado para la plastificación. En la plastificación, el plástico se funde para poder inyectarse en el molde una vez que la cavidad macho y hembra se hayan cerrado por completo. Durante la fase de enfriamiento, un sistema de refrigeración debe asegurar dimensional y uniformemente las temperaturas en la pieza para que el endurecimiento se logré adecuadamente. Finalmente, una vez se ha logrado la rigidez suficiente, el producto es extraído de la máquina una vez el molde se abre. El proceso descrito anteriormente incluye un ciclo de inyección, que mide los segundos necesarios para elaborar un producto en concreto. La calidad de las piezas, en cuanto a funcionalidad e integridad dimensional, depende factores como la precisión de inyección, calidad y tipo de material y diseño del molde. (Torres-Alba et al., 2023)

Uno de los procesos que también se emplea junto con el proceso de inyección para la elaboración de piezas plásticas es el termoformado, y al ser procesos diferentes, ambos tienen sus propias características y ventajas. Inicialmente, la inyección se emplea para la elaboración de piezas complejas y para volúmenes grandes de producción, por lo que las máquinas presentan sistemas fijos de automatización, mientras que el termoformado se emplea para producciones a pequeña escala. En segundo lugar, el termoformado presenta costos menores que los de inyección, pues los moldes para el termoformado se pueden elaborar en aluminio y los de inyección deben ser más resistentes para una producción rápida e ininterrumpida y se componen de aleaciones de hierro-aluminio-cobre. Finalmente, los plásticos granulados se calientan hasta lograr una solución fundida antes de inyectarse en el molde durante la inyección, mientras que en el termoformado se puede usar una variedad de materiales plásticos más resistentes que se calientan hasta alcanzar una temperatura maleable/flexible que adquieren el patrón del molde gracias a la combinación de presión y suministro de bomba. (NPC Precision, 2022)

El proceso de inyección del ácido poliláctico (PLA) es similar al de otros termoplásticos, pero requiere consideraciones específicas debido a sus propiedades únicas. A continuación, se describe el proceso de manera concreta:

1. Secado: El PLA es higroscópico y debe secarse rigurosamente antes de la inyección, típicamente a 80-100°C durante 2-4 horas, para evitar la degradación hidrolítica (Lim et al., 2008).
2. Temperatura de fusión: Se procesa generalmente entre 170-210°C, siendo crucial no exceder los 230°C para prevenir la degradación térmica (Auras et al., 2010).
3. Presión de inyección: Se aplica una presión moderada, usualmente entre 50-100 MPa, ajustándose según la geometría de la pieza (Lim et al., 2008).
4. Velocidad de inyección: Se recomienda una velocidad media a alta para evitar la degradación por cizallamiento excesivo (Auras et al., 2010).
5. Temperatura del molde: Se mantiene entre 20-30°C para el PLA amorfo, y 80-110°C para grados cristalinos, influyendo significativamente en las propiedades finales (Garlotta, 2001).
6. Tiempo de enfriamiento: Generalmente más largo que para plásticos convencionales, variando entre 10-60 segundos según el espesor de la pieza (Lim et al., 2008).
7. Contracción: El PLA presenta una contracción relativamente baja, alrededor del 0.2-0.4% para grados amorfos y hasta 1.5% para grados cristalinos (Auras et al., 2010).
8. Post-procesamiento: Puede requerir un tratamiento térmico posterior para aumentar la cristalinidad y mejorar las propiedades mecánicas y térmicas (Garlotta, 2001).

El control preciso de estos parámetros es esencial para obtener piezas de PLA de alta calidad, equilibrando las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y la apariencia superficial del producto final.

VII Análisis de restricciones para el proyecto

7.1 Restricciones políticas

7.1.1. Situación contextual.

Para analizar las tendencias políticas colombianas, hay que tener claro que el actual mandato, que comprende el periodo 2022 al 2026, es el primer gobierno de izquierda en los más

de 200 años de historia de la república colombiana. Lo anterior tiene consecuencias tanto a nivel interno y externo. Desde un punto de vista interno, se tiene un plan de gobierno que propone reformas importantes en materia de educación, salud, transición energética y la implementación de los acuerdos de paz firmados en el 2016. Por otro lado, en cuanto a las relaciones exteriores, las relaciones entre Colombia y Estados Unidos siempre se han visto favorecidas por la política tradicional en cuanto a control del narcotráfico y beneficios económicos. Así mismo, la posición del nuevo presidente tiene un efecto de “*contagio*” en los demás países latinoamericanos en cuanto a la tendencia de elegir gobiernos progresistas. (Mosquera, 2022)

Dentro de las políticas ambientales del plan de gobierno se plantea la lucha contra el cambio climático y la pérdida de biodiversidad por medio de la transición hacia una economía productivista y más alejada del modelo extractivista para democratizar los recursos naturales, como el agua, considerados como un derecho y el acceso a las energías renovables. En esta política ambiental general, se busca reducir basuras y acumulaciones en los espacios urbanos y rurales maximizando el aprovechamiento de recursos orgánicos e inorgánicos en toda la cadena de producción, el impulso de parques tecnológicos para el aprovechamiento de residuos con apoyo de la sociedad, parques biodegradables para la descomposición de empaques y apoyo a la comunidad recicladora. (Ministerio de relaciones exteriores, s.f.). En síntesis, la tendencia política actual fomenta la transición del país a través de la ciencia, la tecnología y el conocimiento con el fin de lograr una economía independiente de los hidrocarburos, cuidado de la amazonia y el uso democrático de las energías alternativas. (Legis – Ámbito jurídico, 2023)

Tomando en cuenta lo anterior, la política actual de Colombia busca estar alineada con las tendencias ambientales internacionales. Desde el 2019, se ha reportado que solo se ha reciclado el 9% de las 9000 millones de toneladas de plástico existentes en el mundo. En vista de estas cifras, el gobierno actual se ha propuesto que el 100% de los plásticos de un solo uso puestos en el mercado sean biodegradables o compostables, que haya colaboración industrial para que los residuos de estos materiales y que, por lo menos, el 30% de los plásticos tengan material reciclable en su composición.

7.1.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el proyecto.

Considerando lo anterior, las tendencias políticas actuales se coordinan con el uso de materiales como los bioplásticos y materiales elaborados a partir de compostaje. El plan de

gobierno y la ideología política actual buscan soluciones ambientales a los problemas de acumulación y contaminación ambiental causada por la mala disposición de los plásticos de un solo uso, por lo tanto, la implementación de materias primas alternativas como los bioplásticos para los procesos de inyección, entre los cuales los principales y más estudiados son el PLA y los polímeros elaborados a partir de almidón, lo que está en concordancia con la tendencia de dejar gradualmente la dependencia de la explotación del petróleo y gas aprovechando el uso de los recursos naturales a lo largo de la nación y los conocimientos en las actividades que desempeña las comunidades en el manejo de dichos recursos. Por lo tanto, se encuentra que la propuesta del empleo de PLA no contradice las políticas ambientales del actual gobierno al tratarse de una materia prima derivada de compuestos orgánicos. Sin embargo, es importante aclarar que es un material que no se elabora en Colombia, por lo que hay que considerar otras restricciones para tener una visión más global de las limitaciones de implementar un polímero como el PLA. En cuanto al material elaborado a base de compost la situación es diferente, pues este tipo de material se encuentra más alineado con la tendencia del reciclaje, disminución de la problemática ambiental de la acumulación y el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

7.2 Restricciones económicas

7.2.1. Situación contextual.

En cuanto a las restricciones económicas, se analizan los retos en cuanto a costos que trae la implementación de nuevos materiales. Actualmente, la fabricación de un producto en material biodegradable está costando 2 a 3 veces más de lo que cuesta fabricar dicho producto con los materiales plásticos convencionales de un solo uso. Es decir, se tiene hasta una duplicación o triplicación del costo total debido a que los materiales alternativos implican la implementación y el desarrollo de procesos y maquinaria nueva y los proveedores son escasos. Adicionalmente, se tienen los costos asociados a la mano de obra y los costos indirectos de fabricación. Sin embargo, es importante mencionar que, con la creciente producción y desarrollo de materias bioplásticas, también se genera una reducción de su costo por el aumento de disponibilidad y de su competitividad frente al plástico convencional. (Pinto, 2024)

Por otro lado, es importante considerar el precio que el cliente está dispuesto a pagar por productos fabricados con materiales bioplásticos. Los materiales compostables tienen una capacidad de degradación mayor y no liberan partículas de microplásticos al ambiente debido a que

están hechos con polímeros orgánicos, algunos más fáciles de procesar que otros, pero estos materiales permiten cumplir con la calidad y con los objetivos de los productos, desde bolsas hasta cubiertos. Sin embargo, a nivel general, los clientes consideran que los precios son elevados al considerar que la funcionalidad es la misma y los productos cumplen de forma correcta con su funcionalidad, pues el precio de venta de un producto elaborado en material compostable se encuentra un 50% más alto que el precio de los mismos productos elaborados en plástico convencional, pero destacan lo novedoso del material y la compatibilidad con el medio ambiente. Lo anterior explica el hecho de que este segmento de cliente esté dispuesto a pagar dicho precio por un producto manufacturado a partir de material compostable, pues son personas que consideran válido pagar por productos amigables con el medio ambiente. (Bedoya et al., 2022). La mayoría de los jóvenes consideran la importancia del cuidado del medio ambiente, el porcentaje de material reciclado en los productos y su biodegradabilidad. Las personas jóvenes son el segundo público objetivo de los productos amigables con el medio ambiente después de las amas y amos de cada debido a que tienen mayor capacidad de influenciar y extender las tendencias de consumo eco-amigables. (Rodríguez, 2019)

7.2.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.

Las restricciones económicas en cuanto a la implementación de materiales con mayor grado de degradación se centran en el elevado costo de los materiales. Los procesos de elaboración de bioplásticos tienen dinámicas y particularidades en maquinaria, calidad, requerimientos, etapas, consumo de energía y recursos, además, hay que considerar que los proveedores son escasos en Colombia para los bioplásticos y los materiales elaborados con residuos orgánicos por el compostaje. Lo anterior tiene consecuencias directas en la implementación de estas materias primas, pues aproximadamente un kilo de PE, PP y PET se encuentra entre \$2.8 y \$3 USD y un kilo de PLA vale \$4.7 USD. A esto se le suma que la implementación de PLA tiene altas probabilidades de involucrar costos de importación debido a su baja disponibilidad a nivel nacional. Lo anterior no aplica únicamente para el PLA, sino también para los materiales elaborados a partir del compost, cuyo kilo se encuentra en \$35.000 COP, 2.9 veces más costoso que el kilo de PE, PP y PET. Por lo tanto, se tiene un criterio importante para las empresas al momento de considerar la adquisición de dichos materiales.

7.3 Restricciones sociales

7.3.1. Situación contextual.

Los bioplásticos son considerados como una de las soluciones más prometedoras para el medio ambiente y la sociedad, sin embargo, hay que considerar el impacto del ciclo de vida. Inicialmente, hay que considerar que los materiales de origen bio o natural implican que, para su producción a gran escala, se requiere de la generación de monocultivos y deforestación, explotación de recursos naturales, demanda de recursos para el mantenimiento de dichos cultivos como fertilizantes y agua, y el abuso de ciertas comunidades. Es importante tener en consideración que materia prima de los plásticos biodegradables y compostables sigue siendo el combustible fósil, por lo que los impactos sociales y económicos son los mismos que los de los plásticos convencionales de un solo uso debido a que los bioplásticos en su composición, a parte de los polímeros orgánicos, contienen partículas de plástico convencional, el cual puede ser de hasta el 75%, dependiendo del tipo de bioplástico. Por otra parte, la mayoría de los compuestos vegetales que se usan para la polimerización de los bioplásticos se concentran en Asia en forma de monocultivos intensos en regiones tropicales y subtropicales, lo que ha generado que el 80% de los defensores ambientales sean víctimas de persecución. Los anteriores aspectos se intensifican debido a la presión por la producción de materiales naturales para la producción, no solo de bioplásticos, sino también de combustibles alternativos. Los procesos de producción con estos materiales implican el uso de cantidades de energía para los procesos y maquinaria, que también contiene en su ciclo de vida el estrés de los recursos ambientales y sociales.

La producción de la materia prima para conlleva a la expropiación de tierras para la producción a gran escala. La expropiación de tierras ha conllevado a la expropiación de muchas comunidades de sus territorios, la destrucción de los medios de vida tradicionales, privatización de recursos y apropiación de la fuerza productiva en poder de unos pocos empresarios. Por poner un ejemplo, para sustituir todo el PE, el PP y el PET por fibra de trigo, que ha demostrado ser inyectable para la producción de envases y productos para el almacenamiento de alimentos, se requeriría usar entre el 15.9% al 19.5% de la producción global de trigo mientras que para la sustitución del todo el PE por bio-PE se requiere el 93.5% de toda la producción global de trigo. Durante los incendios forestales de la selva amazónica en el 2019, muchas empresas intervinieron sacando provecho de la ampliación de las fronteras agrícolas para usar el territorio, en donde antes se encontraba parte de la selva amazónica, lo que genera conflictividades y movimientos sociales

de resistencias que acaban en muchas veces concluyen en persecuciones, violaciones y asesinatos. Por citar un ejemplo, en el 2020, se reportaron más de 300 asesinatos de defensores ambientalistas en lugares en conflicto por la inversión de empresas privadas en la selva amazónica. (Durán et al., 2021)

Por otro lado, en cuanto a los consumidores y segmentos de mercado, se ha concientizado más el uso de productos amigables con el medio ambiente por las cifras de los medios de comunicación y redes sociales sobre los impactos ambientales del plástico, contaminación, deforestación y estrés sobre los recursos ambientales. Lo anterior porque muchas campañas disminuyeron el porcentaje de compra de productos elaborados con plásticos convencionales, por lo que la incursión de productos elaborados con materiales alternativos que satisfagan la misma funcionalidad que los elaborados con materiales convencionales tiene una demanda amplia y cada vez más creciente, pues aproximadamente el 65 % de los consumidores manifestó no tener inconveniente en comprar productos alternativos y en la sustitución de los convencionales (Parra & Frade, 2018). La información y el conocimiento acerca del tipo de material de empaque, su uso y la disposición final son los criterios que impulsan la toma de decisiones de los consumidores. Algunos trabajos de campo sugieren que cuanto más aumenta el estrato socioeconómico de la población, se tiene más conocimiento acerca de los impactos de los empaques elaborados con biomateriales, aunque el 40% de la población encuestada desconoce la existencia de los bioplásticos, así como sus ventajas, el 70% prefiere los empaques más sostenibles y están dispuestos a pagar un precio mayor, algunos otros consideran el uso de empaques sostenibles, pero no manifiestan intención de compra debido a que no cuenta con el mismo poder adquisitivo que las otras personas encuestadas. (Pinto et al., 2024)

7.3.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.

El análisis de las restricciones sociales también implica mencionar algunas consecuencias de los impactos ambientales. Inicialmente, los bioplásticos, como todos los compuestos biológicos, implican usar amplias porciones de tierra, monocultivos, el uso de sustancias químicas con repercusiones en el pH del suelo y la tierra, lo que tiene una huella ambiental importante a la que se suma la de los plásticos convencionales añadidos para otorgar a los bioplásticos las propiedades necesarias para implementarlos en los procesos que usan únicamente plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles. Lo anterior es importante mencionarlo debido a que muchos

activistas han sido víctimas de persecución, la cual en muchos termina en el asesinato de dichos activistas quienes luchan por la protección de determinadas zonas ambientales debido a que una gestión de los actuales envases plásticos posconsumo puede ser mejor ambientalmente que la búsqueda de nuevos materiales debido a consecuencias tales como el riesgo de la seguridad alimentaria por el uso que se le daría a la tierra para la producción de un único tipo de recurso, generación de conflictos entre la población y las empresas que muchas veces termina en violencia.

Ahora, en cuanto a las restricciones de la implementación del material alternativo del PLA, aunque los efectos de la producción de PLA no afectarían directamente a la empresa, hay que considerar las limitaciones que puede considerar la mesa directiva al elegir una materia prima dependiendo del conocimiento relativo al impacto social del proceso productivo para dicha materia prima. Ahora bien, una situación que puede resultar estimulante al momento de considerar una nueva materia prima es el hecho de que, en los consumidores, especialmente la población joven, está dispuesta a pagar o considera la importancia de adquirir productos elaborados con nuevos materiales, por lo que tienen segmentos de clientes considerables para el negocio de los productos elaborados con bioplásticos. Por lo tanto, la restricción se puede ver amortiguada desde el punto de vista de los clientes potenciales.

7.4 Restricciones técnicas

7.4.1. Situación contextual.

La aplicación de una nueva materia prima en los procesos de inyección actuales se requiere del conocimiento de la tolerancia que resisten las máquinas de inyección. Algunas máquinas de inyección se usan para un mismo tipo de producto, que pueden presentar diferente composición en los porcentajes en la composición de la mezcla empleada para cada producto según las condiciones deseadas. En otros casos, los productos se componen de un solo tipo de producto. Estos productos son llamados productos originales. Para los casos en los que las máquinas se emplean para los distintos productos, se deben emplear materiales que sean admitidos por la máquina. Dentro de las propiedades que resultan de relevancia para calidad del producto y para el correcto funcionamiento de la maquinaria son la densidad, el melindex, la resistencia a la tracción y al porcentaje de alargamiento. La densidad indica la cantidad de masa por unidad de volumen, lo cual depende de cada tipo de material. Para un mismo producto (mismo molde de inyección y volumen constante) se debe garantizar cierto peso, afectando su funcionalidad, el tiempo de enfriamiento y la

solidificación o, por otro lado, haciendo que su peso sea menor generando un producto demasiado frágil y necesitando inyectar más material. El melindex mide la fluidez del polímero fundido. Cuando mayor es el melindex, menor es la viscosidad, por lo que el polímero fundido tiene una mejor fluidez, por lo que se requiere un menor tiempo de inyección y una menor presión para la inyección en el molde. Por otro lado, un melindex más bajo puede dificultar el proceso de llenado, requiriendo una mayor presión y temperatura. La resistencia a la tracción indica la presión que el material soporta antes de deformarse permanentemente. Cuando la resistencia aumenta, se pone en riesgo la integridad del tornillo de inyección, pues implica hacer un mayor esfuerzo para desplazar el material a lo largo del conducto de inyección, aunque para los productos podría contribuir a un aumento de la resistencia de los productos. Por otro lado, una menor resistencia a la tracción o a la carga demanda unas condiciones menos exigentes de inyección, pero la resistencia de los productos se puede ver comprometida. Finalmente, un porcentaje de elongación mayor implica que el material puede absorber una mayor cantidad de impacto sin romperse, pero una mayor dificultad para romper el material, mientras que un porcentaje de elongación menor hace que el material sea más fácil de romper y se disminuye la probabilidad de que se presenten defectos por acumulación de material “frío”.

7.4.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.

Para un análisis de las restricciones técnicas, hay que considerar las propiedades de la materia prima para que no afecte la integridad de las máquinas de inyección. El producto solicitado en un material bioplástico tiene la ventaja agregada de ser pequeño, por lo que demanda un tornillo de inyección más pequeño y una menor presión de inyección del material, por lo que los riesgos del PLA al tener mayor resistencia a la carga, a la tracción y un mayor porcentaje del alargamiento se disminuyen de forma importante. Ahora bien, es importante mencionar el soporte de la temperatura, pues actualmente las máquinas de inyección emplean una temperatura de 220 °C en el fondo de la tolva para la fundición del material granulado convencional, por lo tanto, ya que el PLA presenta una temperatura de fusión de 150 °C, no se requiere un sobrecalentamiento de la máquina y podría emplearse una menor temperatura de trabajo, algo que representa un ahorro económico. En conclusión, se debe realizar un proyecto piloto para la inyección de PLA para el producto solicitado por el cliente es viable, ya que las condiciones del proceso reducen los riesgos para la maquinaria empleada actualmente.

7.5 Restricciones ambientales

7.5.1. Situación contextual.

El impacto ambiental hace referencia a la forma cómo las actividades cambian, alteran o influyen sobre el entorno natural. Dentro de estas actividades destacan las construcciones, la industria, la agricultura y la explotación de los recursos naturales. Estas actividades también tienen sus propios indicadores de impacto ambiental y su propia gestión para el control y disminución de dicho impacto. Como en Colombia no se presentan proveedores de PLA porque son confidenciales o no se desarrolla el material por intereses comerciales o por carencia de recursos, se deben considerar los impactos ambientales del comercio exterior. Los aspectos más relevantes al momento de analizar el impacto del comercio con el transporte, el ciclo de vida de los productos, el consumo de recursos y emisiones durante el proceso productivo, cantidad de energía empleada, impactos en la biodiversidad. Aunque el comercio exterior también tiene impactos positivos favorecidos por la globalización, las tendencias mundiales y la cooperación internacional, como las normativas internacionales, la transferencia de información y la búsqueda de procesos y productos más sostenibles, control de emisiones, transporte y producción sostenible. (OFTEX International sales, 2024)

7.5.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.

Ya que el PLA es un producto poco elaborado en Colombia, se tiene una huella ambiental importante en su ciclo de vida por el transporte que implica su importación. Si bien el costo de importación no es una restricción para la empresa, sí está presente un costo ambiental debido a las emisiones del transporte aéreo que los proveedores consultados ofrecen para el envío del producto a Colombia, por lo que las restricciones dependen de la consideración ambiental considerada por la empresa al momento de analizar el impacto de la importación, las políticas de la importación.

Por otra parte, se consideran las condiciones mencionadas en su proceso de producción como el uso de la tierra, la energía, y los efectos posconsumo del material, pues, aunque su degradabilidad es de 2.5 a 6 meses, existe el riesgo de liberación de micro plásticos que, según se documentó en usos previos de PLA, ha generado contaminación importante en el cuerpo de personas que viven cerca de las zonas con concentración de micro plásticos. En síntesis, el ciclo de vida del PLA involucra el impacto de la importación y el proceso de degradación posconsumo.

7.6 Restricciones legales

7.6.1. Situación contextual.

Desde julio de 2024 entró en vigor la ley 2232 de 2022, que busca dejar progresivamente los plásticos de un solo uso en el país. Esta ley busca eliminar los efectos ambientales causados por los plásticos de un solo uso por medio de prácticas sostenibles. La ley se da gracias a la necesidad de eliminar en el mercado la comercialización y distribución de los productos fabricados con plásticos de un solo uso, según el artículo 6 de la ley, por lo que la ley promueve formas alternativas de producción basadas en criterios de biodegradabilidad y reciclabilidad. Así mismo, las prácticas sostenibles que esta ley pretende impulsar son el mejoramiento del ciclo de vida, la economía circular y la responsabilidad extendida al productor.

El artículo 5 de la ley estipula los productos que se pretende salgan del mercado. Dentro de estos se encuentran las bolsas en los puntos de pago de supermercados y tiendas con el objetivo de empaque; bolsas utilizadas para empacar periódicos, revistas o ropa recién lavada en lavanderías, rollos de bolsas vacías para empaque de fruta o productos de carne en supermercados, mezcladores plásticos y pitillos, soportes para bombas de inflar y envases plásticos para soportes de algodón e hisopos, recipientes para empacar y servir comida, estuches para hilo dental, adhesivos y etiquetas. Así mismo, se plantean metas del porcentaje de materia prima reciclada o posconsumo que deberá estar presente en los productos para el 2025, como las botellas para consumo de agua, que deberán tener hasta un 50 % de material reciclado, las de otras bebidas, hasta un 20 % de material reciclado, para el 2030 se pretende que el 50 % de las botellas plásticas se reutilice, y el polietileno de alta densidad se aprovecha. (UNAD - Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2024)

En materia legal, desde el ministerio Comercial, Industria y Turismo se busca imponer el arancel a los productos producidos al interior del país. La decisión de tomo después de que los estudios realizados por el ministerio evidenciaran la producción local de 32 bienes a nivel local. A dichos bienes se les ha impuesto una tasa arancelaria entre el 5% al 15% dependiendo del tipo de bien del que se trate. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2024)

7.6.2. Análisis de la restricción para el proyecto según el contexto.

Aunque la legislación ambiental actual fomenta principalmente el reciclaje y el tratamiento posconsumo de productos elaborados en plásticos de un solo uso para reducir el impacto ambiental de la acumulación de plásticos en los ecosistemas terrestres y marinos, también se promueve el

uso de la biodegradabilidad para solucionar los problemas ambientales actuales. El proyecto se ve favorecido por la legislación que permite el uso de materiales biodegradables, por lo que se suma la disminución o la no imputación de aranceles de los materiales manufacturados en el territorio nacional, por lo que no hay restricciones económicas en la entrada de materiales estudiados en el proyecto provenientes del extranjero.

VIII Metodología

El desarrollo de la inyección se llevó a cabo mediante una serie de 3 fases consecutivas. En la primera fase, se contactó con proveedores de PLA original para consultar acerca de los costos del material incluyendo los costos de importación y la documentación técnica del material, que abarca la ficha técnica, la hoja de seguridad y el FDA. Con estos resultados, se procede a consultar con la población objetivo de ingenieros a cargo del departamento de calidad y supervisión de los procesos de inyección acerca del impacto de la variación entre las propiedades de la materia prima convencional y la materia prima propuesta. Parte de esta consulta ya se había realizado para obtener un panorama de las restricciones a nivel técnico de la implementación del nuevo material. A partir de esta consulta, se tiene un mejor panorama de la influencia de las propiedades sobre el desempeño del proceso y del producto, el cual se puede comparar con los resultados de la inyección a escala de laboratorio. Como complemento a la información obtenida del personal, para justificar la propuesta se requiere un estudio del estado actual de las operaciones del producto tales como la demanda de materiales, la productividad y la cantidad de producto elaborado diariamente para justificar el uso de un nuevo material. Durante la segunda fase, se procede a diseñar el molde en un software de dibujo técnico con las especificaciones dimensionales del producto convencionalmente fabricado. A partir de dicho dibujo se obtiene el plano del molde para la inyección a escala de laboratorio. A partir del tamaño del molde, se estima cuál es el método más adecuado para la elaboración del molde tomando en cuenta la cantidad de material a usar y los equipos necesarios. Finalmente, durante la fase 3, se lleva a cabo el proceso de llenado de los moldes. Para ello, se trata de replicar el proceso al que se someten los materiales al interior de una máquina de inyección. El proceso implica el calentamiento del material en una mufla hasta lograr la fundición del material para verter esta en las cavidades destinadas. Una vez se haya logrado el estado pastoso o fluido del material, se agrega dentro de los moldes, que contiene un poco de aceite mineral como lubricante para reducir la cantidad de material que se puede adherir al molde al momento de extraerlo una vez se haya solidificado.

IX Resultados

9.1 Primera fase

En esta parte se realiza la búsqueda de documentación técnica acerca del PLA. Para esto, se contactó con proveedores de la resina de PLA para obtener la información técnica que se debe asegurar para las materias primas de los procesos industriales como parte del proceso de inspección de calidad en las materias primas e insumos. La siguiente parte del proceso de inspección y análisis de calidad de las materias primas es la realización de pruebas dimensionales o mediciones y verificación de los atributos o estado cualitativo. Para las resinas y material granulado no se realizan pruebas de laboratorio de ningún tipo, más se asegura la nula contaminación y la información técnica.

9.1.1. Resultados económicos.

El PLA usualmente es una materia prima bastante económica para la construcción de este tipo de implementos como cucharas, tenedores y pitillos plásticos, los precios suelen oscilar entre los 3 a 4 dólares el kilo. Como este proyecto está enfocado en realizar estos mismos implementos de forma sustentable, nos concentramos en buscar la alternativa de PLA compostable para reemplazar la contraparte de la materia prima original, encontrando precios que iban desde los 18 hasta los 22 dólares por kilo, importado.

Ilustración 1 Comparación de costos asociados a la adquisición de la materia prima

iSouChem				GetChem		Unilog Industry	
Tipo de envío express	Precio por kg de PLA (USD)	Precio por unidad de empaque (25 kg) (USD)	Costo total final (importación) (USD)	Precio 25 kg de PLA más tarifa de mensajería (USD)		Precio 25 kg de PLA más tarifa de mensajería (USD)	
UPS	4.7	117.5	567.5	625		559	
DHL	4.7	117.5	702.5				
DHL (ASP21)	4.97	124.25	554.25				

Así las cosas, el precio inicial de la cucharita se dispara exponencialmente, llegando a ser incluso más alto que la original por lo que es necesario explorar nuevas alternativas, según el siguiente cálculo partiendo del menor costo de adquisición de la unidad mínima de empaque la materia prima de 25 kg. El costo mínimo ofrecido de importar 25 kg es de 554.25 dólares, por lo que un kilo de material tiene un costo asociado de 22.17 dólares, el equivalente a 98,056.30 pesos colombianos. A partir de la anterior equivalencia, se puede calcular el costo asociado por unidad

de producto tomando en cuenta que la cuchara nucita es un producto original, es decir, se compone de un solo material.

$$\frac{\$ 98056.30 \text{ COP}}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} * \frac{0.49 \text{ gr}}{\text{Unidad de producto}} = \frac{48.047 \text{ COP}}{\text{Unidad cuchara}}$$

A partir de la expresión anterior, se obtiene un costo asociado de 48.047 COP por unidad de producto. Ahora, para mencionar el análisis de la utilidad, se tiene que considerar que, en la industria del plástico, el costo de la materia prima representa el 50% del costo total. Si se toma un margen de utilidad por cuchara del 20%, se tiene que el precio de venta de la cuchara nucita tiene que ser de \$211 COP. Comparando esto con el precio de venta actual es de \$12 COP, se tiene que, para justificar la nueva materia prima, el precio de venta debe aumentar 17.61 veces, es decir, un 16.61% más del precio de venta actual. Por otra parte, se tiene que el dulce cremoso para el cual está destinado producto a elaborar, se vende en el mercado a \$700 COP, por lo que el precio de venta de la cuchara solo es el 1.71% del precio de venta del producto. Para mantener esta relación empleando la nueva materia prima, se tendría que aumentar el precio de venta del producto a \$2700 COP. En conclusión, se tiene que el producto no justifica el uso de esta nueva materia prima.

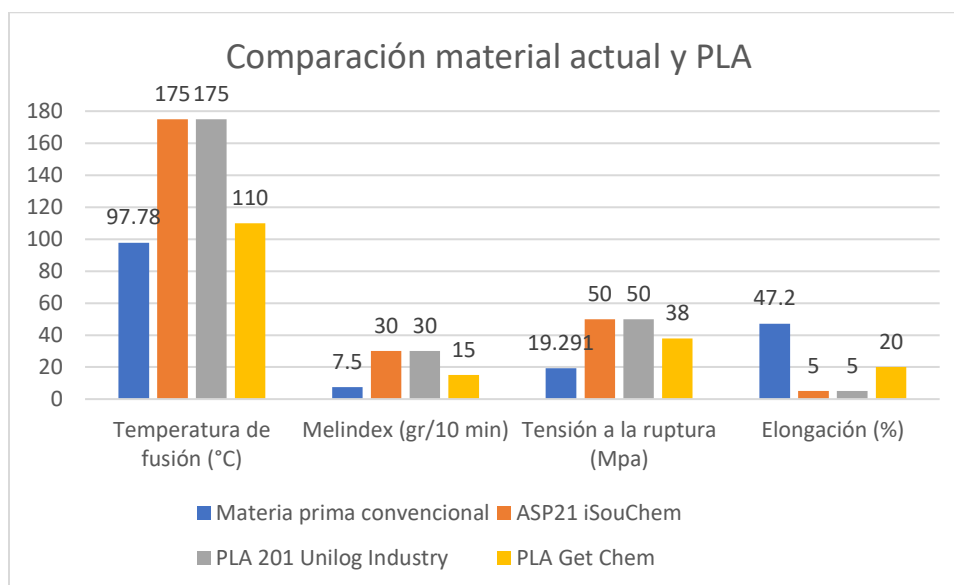
9.1.2. Resultados de la propuesta.

Tras consultar la documentación técnica ofrecida por los proveedores de PLA, se presenta en la tabla 2 los valores numéricos de las propiedades relevantes para la inyección. En la ilustración 1 se representa gráficamente esa tabla para facilitar la comparación.

Tabla 1 Tabla de propiedades para la materia prima convencional con respecto a las alternativas de PLA

Variable	Materia prima convencional	PLA ASP21 iSouChem	PLA 201 Unilog Industry	PLA Get Chem
Temperatura de fusión (°C)	97.78	175	175	110
Melindex (gr/10 min)	7.5	30	30	15
Tensión a la ruptura (Mpa)	19.291	50	50	38
Elongación (%)	47.2	5	5	20

Ilustración 2 Grafico de propiedades para la materia prima convencional con respecto a las alternativas de PLA



El aumento de la temperatura de fusión de la resina de PLA no afecta el proceso de inyección debido a que las máquinas inyectoras trabajan con un *set point* de temperatura tanto al inicio como al final del tornillo inyector. Cuando el material ingresa por la tolva a la cavidad del tornillo inyector, el fondo de la tolva se encuentra a una temperatura mayor a la temperatura de fusión del material con el fin de garantizar que todo el material granulado se funda. Esta temperatura para la materia prima convencional de la cuchara nucita se encuentra entre 10 °C a 13 °C por encima de la temperatura de fusión. Una vez la materia prima se ha fundido en el fondo de la tolva, el tornillo de inyección empuja la materia prima hacía adelante mientras la tritura y la compacta hasta el final del conducto, en donde la temperatura es mucho mayor para garantizar una estabilidad térmica que evite una solidificación prematura antes de la inyección. A partir de los valores del PLA se concluyó que los rangos de temperatura de trabajo son alcanzables y en algunos casos similares al actual rango de temperatura trabajado.

Por otra parte, por lo que se refiere a las demás propiedades, estas tampoco representan cambios significativos en el proceso. Las elevadas temperaturas apresuran el proceso de fundición y otorgan estabilidad al proceso y al tiempo del ciclo de inyección. El índice de fluidez del PLA suele ser mayor al de la materia prima convencional, lo que implica menor viscosidad y mayor facilidad de flujo durante el movimiento del tornillo por el canal de inyección. Esto puede reducir el ciclo de inyección, pero los cambios son mínimos y poco significantes, pues son milésimas de segundo, los parámetros de trabajo de máquina influyen más en el ciclo de inyección, como el

tiempo de enfriamiento, el sistema de refrigeración y el ángulo de desmoldeo. Por lo tanto, la diferencia del índice de fluidez no es crítica ya que sus consecuencias son manejables y marginales. Por lo que se refiere a la tensión a la rotura y al porcentaje de elongación, estas propiedades repercuten en la calidad del producto final más que en el proceso de fabricación debido a que el mayor papel lo desempeña el tornillo de transporte al aplicar cizallamiento y presión sobre el material granulado, lo que, junto con el calor generado al inicio y final del tornillo, garantiza la homogeneidad y la fluidez del material y la tensión a la rotura y la elongación pierden relevancia. El PLA presenta en estas propiedades mayores valores, lo que implica que sus productos resisten una mayor carga antes de romperse, menos flexibilidad y más fragilidad.

Los riesgos inicialmente por el alto grado de tensión a la ruptura del PLA son despreciables porque durante el proceso de inyección lo más importante es la fluidez del material en estado fundido, ya que depende del llenado del molde uniformemente. Igual de relevante la estabilidad de la temperatura para garantizar el estado del material independientemente de sus propiedades en estado sólido. Mientras el tornillo empujaba el material hacía el molde, lo que resulta relevante es la fluidez del material porque aumentan rebabas por escapes de material o provocan déficits de material en el producto generando debilidades estructurales, mayor susceptibilidad a deformaciones y mayor dificultad para controlar y supervisar el proceso. Por otra parte, una fluidez demasiado baja compromete la capacidad de llenado del molde, lo que repercute en los detalles y en la estructura de las piezas para las mismas condiciones de operación de las máquinas. Las demás propiedades son esenciales para evaluar la durabilidad y rendimiento del producto terminado, pero no afectan el proceso de inyección.

9.2 Segunda fase

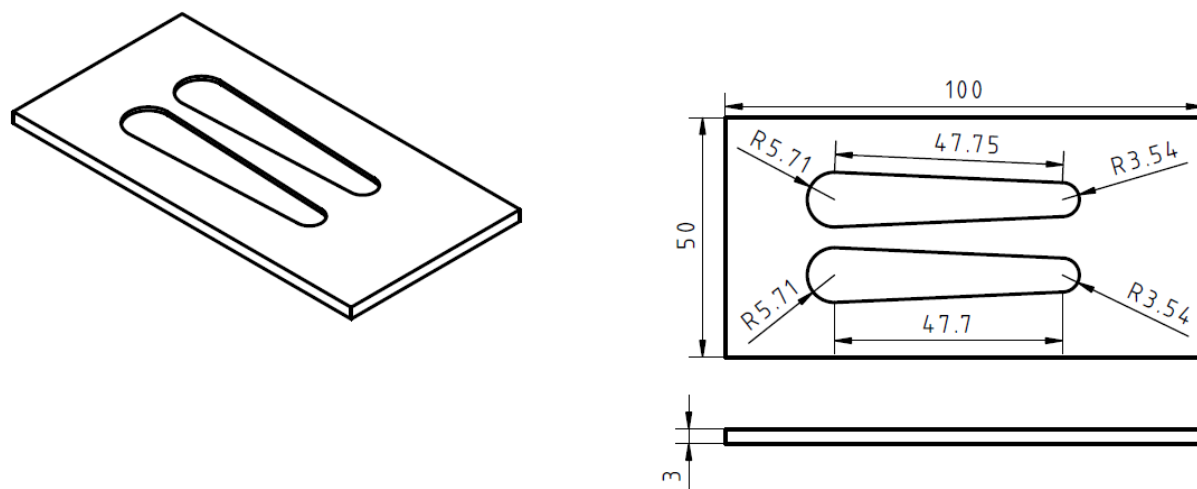
9.2.1. Resultados económicos.

Para esta fase de la metodología, se consideran los costos económicos asociados a la elaboración del molde. Los costos en esta fase se consideran nulos debido a que se emplearon herramientas de dibujo de CAD de las que ya se disponía y los materiales que se emplearon fueron proporcionados por la institución para la impresión. En conclusión, esta fase no lleva costos asociados.

9.2.2. Resultados de la prueba.

Para el desarrollo de la cuchara nucita se debe elaborar inicialmente el plano. La elaboración del plano es fundamental en los procesos de producción porque contiene las especificaciones del producto y del molde de inyección. Estas especificaciones hacen parte de las especificaciones técnicas de un producto, pues también hay otras especificaciones como las pruebas de calidad, la identificación del producto, la finalidad del producto, los componentes y la información del proveedor. En la ilustración 2 se muestran las dimensiones del molde adecuadas para el alcance del presente proyecto. Inicialmente, se consideró emplear un bloque de aluminio para soportar las temperaturas a las cuales se funde el material para ser inyectado, sin embargo, se tuvo que reducir la altura del molde de 50 mm a 3 mm debido a que el tamaño del producto no justifica emplear un volumen inicial de material metálico de 250.000 mm^3 para elaborar las cavidades vírgenes por la herramienta de control numérico por computación (CNC). Las demás especificaciones dimensionales del plano se mantienen. Por último, se especifica que el espesor de las cavidades virgen es de 0.92 mm .

Ilustración 3 Especificaciones dimensionales molde de la cuchara nucita para inyección a escala de laboratorio (mm)



A partir de estas especificaciones se optó por la impresión 3D como método más adecuado para la elaboración del molde, pues se consideró que emplear un bloque metálico y un CNC representaría un desperdicio de materiales y de recursos. En la ilustración 3 se muestra el resultado final del molde elaborado en fibra de carbono, material recomendado por el personal de la impresión 3D debido a que en estado sólido permite soportar temperaturas de hasta $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para

trabajar el material, se requirió, a parte del plano, el dibujo técnico en formato STL para poder ser leído por una impresora específica debido a la emisión de vapores durante el proceso.

Ilustración 4 Molde virgen para la cuchara nucita en fibra de carbono



9.3 Tercera fase

9.3.1. Resultados económicos.

Para el análisis económico de esta fase, se considera únicamente el costo de adquisición de la materia prima. La materia prima fue adquirida como producto terminado para ser reprocesado, es decir, se considera como material recuperado posconsumo. La materia prima consta de un paquete de 500 pitillos delgados elaborados en PLA obtenido a partir de la fermentación de la fécula del maíz por un coste total de \$11.000 COP, por lo que tiene que el costo de cada unidad es de \$22 COP. A continuación, se presentan los cálculos respectivos considerando que se emplearon la mitad de las unidades para la elaboración de 4 unidades de producto tomando en cuenta que solo se usaron la mitad de las unidades y que cada unidad pesa aproximadamente 0.8 gr. Por lo que se tiene un peso de 200 gr para las 250 unidades empleadas y un costo total de \$27.50 COP para dichas unidades empleadas.

$$I - C = U$$

$$I - (\$55 \text{ COP}) = (\$55 \text{ COP}) + (\$55 \text{ COP} * 0.2)$$

$$I = \$121 \text{ COP para las 4 unidades elaboradas}$$

Con base en los resultados anteriores, se tiene que el ingreso o precio de venta por unidad de cuchara debe ser \$30.25 COP. Esto representa un aumento de 2.5 veces o del 1.52% del precio de

venta actual del producto elaborado con la materia prima convencional. Lo que conlleva a un incremento de su porcentaje con respecto al precio de venta del producto del dulce cremoso, el cual pasa de ser del 1.71% al 4.32%.

9.3.2. Resultados de la prueba.

Al momento de calentar la materia prima del PLA, se encontró un punto de fusión es mucho alto y requiere de más tiempo de calentamiento a medida que se acumula el material. De igual manera, si no se procesa previamente la misma pasándola por un triturador, no se calentará o derretirá con la misma efectividad. Pasados alrededor de 10 minutos se comienza a notar una sustancia pastosa con su exterior color café, por lo que se decide retirarlo de la mufla para comenzar el proceso de llenado del molde. Al manipular el líquido se nota que debajo de esta capa café hay una sustancia cremosa del mismo color que se puede manipular fácilmente. Esta sustancia es retirada con espátulas para ponerse sobre el molde de fibra de carbono para posteriormente hacer contra molde con una paleta plana. Al terminar este procedimiento, se deja secar un aproximado de 2 minutos para poder desmoldar correctamente, cabe aclarar que, para este proceso, previamente se aceitó el molde para facilitar el desmoldeo de la cuchara. El resultado final es la cuchara con exceso de sedimento a los costados, por lo que una vez esté completamente solidificada, se moldea a necesidad con ayuda de un esmeril.

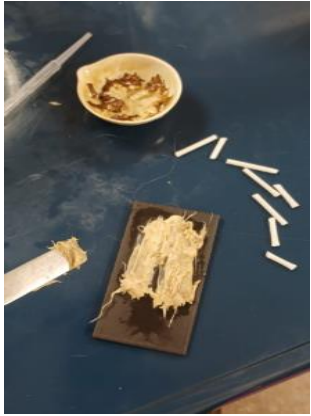


A continuación, se muestran los resultados del proceso de elaboración de las cucharas. En la tabla 2 se muestra el material para lubricar el molde y el proceso de preparación del material para el calentamiento y el mismo procedimiento de calentamiento. Por otra parte, en la tabla 3 se muestran los resultados que ilustran el proceso de vertimiento en el molde

Tabla 2 Resultados del proceso inicial de calentamiento

Aceite mineral empleado para lubricación del molde	Calentamiento inicial del material	Trituración para deducir el tamaño del material y facilitar la fusión
---	---	--



Tabla 3 Resultados del vertimiento y llenado de molde

Llenado del molde	Elaboración del contramolde	Producto final
 A photograph showing a person using a spatula to fill a dark rectangular mold with a thick, yellowish, fibrous material. A small white dish with more material and some white granules are on the blue work surface.	 A photograph showing a person using a metal tool to shape a piece of the yellowish material into a specific form on a blue surface. A bottle of water and a small white dish are also visible.	 A photograph showing two finished, elongated, yellowish, fibrous objects (spoons) lying on a blue surface.

X Conclusiones

- El PLA es un bioplástico que se ha empleado en la industria del plástico para la manufactura de los productos que actualmente se elaboran en polímeros obtenidos de los combustibles fósiles debido a que su comportamiento como material permite que se emplee en las máquinas y procesos actuales.
- Las propiedades de los materiales en el proceso de inyección no influyen significativamente en los parámetros de funcionamiento de las máquinas y condiciones del proceso debido a que estos se encuentran fijos y establecidos y dependen de otros factores como el tipo de producto a elaborar y las características de la máquina. Por otro lado, las propiedades del material influyen más significativamente en el rendimiento del producto, lo cual se manifiesta en la mayor dureza de las cucharas obtenidas al punto de no presentar

ninguna maleabilidad o posibilidad de doblarse, algo que afecta la calidad del producto, pues se requiere cierto grado de flexibilidad en el producto sin riesgo de ruptura para poder cumplir con la funcionalidad del producto y proporcionar comodidad al cliente durante su uso, pues la cuchara debe ser flexible para poder introducirse y emplearse fácilmente durante el consumo del dulce cremoso.

- Para la implementación de una nueva materia prima se debe considerar la justificación de costo a partir del producto. Si bien el costo de adquisición del PLA no es inalcanzable para la compañía en la cual se realizó el estudio de operaciones, hay que considerar las implicaciones en cuanto al precio de venta y la utilidad al implementar una nueva materia prima.
- Debido a que durante la inyección a escala de laboratorio los procesos de calentamiento, trituración e inyección se llevaron a cabo por separado, se presentaron principalmente defectos por incompletos en los primeros prototipos. En los procesos de inyección, el material es triturado constantemente mientras se calienta progresivamente a lo largo del tornillo de inyección hasta el momento de inyección en el molde, el cual está en constante refrigeración para garantizar el producto se solidifique uniformemente. Durante la práctica, se presentó una solidificación prematura debido al descenso de la temperatura del material, algo que no ocurre en la inyección convencional debido a que el plástico aumenta su temperatura hasta que es inyectado en el molde, donde empieza a solidificarse.

Referencias bibliográficas

- Afshar, S., Boldrin, A., Astrup, T., Duugaard, A., & Hartmann, N. (2024). Degradation of biodegradable plastic in waste management Systems and the Open Enviroment: A Critical review. *Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140000>
- Arboleda, G., Palacios, L., Villada, H., & Portela, H. (2021). Bioplásticos: oportunidad para el desarrollo de capacidades de innovación en Colombia. *Ambiente E Innovación Rural - Uniagustiniana*, 3-21.
- Auras, R., Lim, L. T., Selke, S. E., & Tsuji, H. (Eds.). (2010). Poly(lactic acid): Synthesis, structures, properties, processing, and applications. John Wiley & Sons.
- Bedoya, J., Cuellar, K., & Orozco, C. (2022). Estudio de validación de la iniciativa emprendedora de comercialización de bolsas de bioplástico a partir de almidón de yuca para la recolección de excremento canino en la ciudad de Pereira en el 2022. *Universidad Católica de Pereira*, 32-47.

- Calderón, R. (2023). IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DESDE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL LA GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS: EL CASO DE GALDENT EN BARRANQUILLA. *Universidad de la Costa*, 42-45.
- Camposano, I. R., & Riera, M. A. (2022). Ácido poliláctico: una revisión de los métodos de producción y sus aplicaciones: Polylactic Acid: A review of production methods and their applications. *Ciencia y Tecnología*, 16, 49. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6908007>
- Cárdenas, R., Palma, D., Chanona, J., Dorantes, H., Bravo, B., & Andranca, J. A. (2023). Mechanical and thermal evaluation of PLA/PLA-g-MA/MCC composites via reactive extrusion. *MRS Advances*. <https://doi.org/10.1557/s43580-023-00683-2>
- Chico, M., & Sampedro, T. (2022). Production of Bioplastic and their Applications as Food Packaging: PLA AND PHB: Producción de bioplásticos y sus aplicaciones como empaque de alimentos: PLA y PHB. *Revista Alimentos, Ciencia E Ingeniería*, 29(2), 33-37.
- Chiquillo, A. (2022). ANÁLISIS DE LA LEY 2111 DE 2021 FRENTE A LA POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA PARA SU PRESERVACIÓN. *Universidad Cooperativa de Colombia*, 24-25.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). *GUÍA PARA EL ANÁLISIS y ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DESISTEMAS DE INFORMACIÓN: Oficina de Tecnologías y Sistemas de Información - Grupo de Gestión de Sistemas de Información*. Recuperado 4 de septiembre de 2024, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDTI/Oficina%20Informatica/Sistemas%20de%20informaci%C3%B3n/Gu%C3%ADas%20Formatos%20Plantillas/Gu%C3%ADa%20para%20el%20an%C3%A1lisis%20y%20especificaci%C3%B3n%20de%20requerimientos%20de%20sistemas%20de%20informaci%C3%B3n.pdf>
- Dirección de asuntos ambientales, sectorial y urbana. (2019). Plan nacional de gestión sostenible para los plásticos de un solo uso: Sostenibilidad de los sectores productivos. En *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.
- Drumright, R., Gruber, P., & Henton, D. (2024). Polylactic acid Technology. *Advanced Materials*, 12(23). [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(200012\)12:23](https://doi.org/10.1002/1521-4095(200012)12:23)
- Durán, M., Espinosa, A., & Barro, V. (2021). BIO FAKES El engaño de los bio plásticos. En *Amigos de la Tierra* (Bustos 2, 28038). Amigos de la Tierra. Recuperado 6 de octubre de 2024, de <https://www.tierra.org/bio-fakes-el-engano-de-los-bio-plasticos/>
- Fadzly, M., Muhamad, N., Sulong, A., Mohd, N., Mohd, M., Rizal Ahmad, M., Hafizi, M., Syazwan Ramli, A., & Bakri, M. (2021). Problems and constraints involved in the

- injection moulding process of biocomposites: a review. *Malaysian Society of Agricultural and Food Engineers - HH Publisher*, 2(1), 2-12. <https://doi.org/10.36877/aafmj.a0000192>
- Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367-392. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>
- García, M., Vilorio, A., & Calderón, M. (2021). Capítulo 3: Climate change litigation in Colombia. En *Comparative Climate Change Litigation: Beyond the usual suspects* (p. 53). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46882-8_3
- Garlotta, D. (2001). A literature review of poly (lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), 63-84.
- Legis - Ámbito jurídico. (2023, 7 febrero). *Conozca el Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno de Gustavo Petro para los próximos cuatro años*. Legis - Ámbito Jurídico. Recuperado 6 de octubre de 2024, de <https://www.ambitojuridico.com/noticias/general/conozca-el-plan-nacional-de-desarrollo-del-gobierno-de-gustavo-petro-para-los>
- Lim, L. T., Auras, R., & Rubino, M. (2008). Processing technologies for poly (lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33(8), 820-852.
- Llyars, R. A., Sapuan, S. M., Harussani, M., Muhamud, A., Hakimi, M. Y. A. Y., Haziq, M. Z. M., Asyraf, M. R. M., Ishak, M. R., Razman, M. R., Nurazzi, N. M., Nurrahim, M. N. F., Abral, H., & Asrofi, M. (2021). Polylactic acid (PLA) biocomposite: processing, additive manufacturing and advanced applications. *Polymers*, 13(1326), 22-28. <https://doi.org/10.3390/polym13081326>
- Mesa nacional para la gestión sostenible del plástico. (2021). Plan nacional para la Gestión Nacional de Plásticos de un solo uso. En *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Secretaría técnica.
- Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016, 16 junio). *Colombia aspira a que en 2030 el 100 % de los plásticos de un solo uso del mercado sean reutilizables o compostables*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado 6 de octubre de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/colombia-aspira-a-que-en-2030-el-100-de-los-plasticos-de-un-solo-uso-del-mercado-sean-reutilizables-o-compostables/#:~:text=Bogot%C3%A1%20D.%20C.%2C%2016%20de%20junio%20de%202021%20%2DMADS%2D.&text=Por%20eso%2C%20la%20apuesta%20de,degradados%20por%20organismos%2C%20biol%C3%B3gicamente>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024, 14 marzo). *Importación de materias primas y bienes de capital que ya se producen en el país vuelven a tener arancel*. Recuperado 6 de octubre de

- 2024, de <https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/materias-primas-y-bienes-de-capital-con-arancel>
- Ministerio de relaciones exteriores de Colombia. (s. f.). Colombia, potencia mundial de la vida: Programa de gobierno 2022 - 2026. En *Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia*. Recuperado 6 de octubre de 2024, de <https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/FOTOS2020/Programa%20de%20Gobierno%20Gustavo%20Petro.pdf>
- Mosquera, S. (2022, 27 junio). *El cambio de tendencia que llega ahora a Colombia puede tener una doble lectura, un efecto de cambio desde el [Comentario sobre "Cambio político en Colombia"]*. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2022/06/cambio-politico-en-colombia/>
- Nagarajan, V., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2016). Perspective on polylactic acid (PLA) based sustainable materials for durable applications: Focus on toughness and heat resistance. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(6), 2899-2916. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00321>
- NPC Precision. (2022, 20 junio). *Moldeo por inyección versus termoformado ¿Cuál es la diferencia?* Recuperado 7 de septiembre de 2024, de <https://www.npcinjection.com/es/news/injection-molding-vs-thermoforming-whats-the-difference.html#:~:text=de%20componentes%20pl%C3%A1sticos.-,El%20moldeo%20por%20inyecci%C3%B3n%20se%20utiliza%20para%20piezas%20complejas%20comparativamente,de%20fabricaci%C3%B3n%20a%20peque%C3%B1a%20escala.>
- OFTEX International sales. (2024, 18 marzo). *El impacto ambiental del comercio exterior*. OFTEX International Sales. Recuperado 6 de octubre de 2024, de <https://www.oftex.es/impacto-ambiental-del-comercio-exterior/>
- Parra, F., & Frade, M. (2018). Análisis del impacto de sustituir pitillos plásticos por biodegradables en una empresa de servicios de alimentos & bebidas, caso centro de convenciones el cubo, Bogotá. *Universidad Uniagustiniana*, 52-75.
- Pinto, A., Cardona, J., & Polanco, F. (2024). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Universidad y Empresa*, 25(4), 8-12.
- Pinto, K. (2024, 16 julio). La nueva ley de plásticos implicará mayor costo para fabricar productos como pitillos. *La República*. <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/la-nueva-ley-de-plasticos-exigira-un-mayor-costo-para-fabricar-productos-como-pitillos-3908466>
- Rasal, R. M., Janorkar, A. V., & Hirt, D. E. (2010). Poly (lactic acid) modifications. *Progress in Polymer Science*, 35(3), 338-356. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.12.003>

- Rampérez, J. (2021). *El ácido poliláctico (PLA): Un material innovador en la actualidad*. Universidad Almeriense.
- Rodríguez, E., Bernal, A., Gaitán, H., Kim, C., Salguero, J., Toledo, E., Vásquez, C., & Martínez-Richa, A. (2021). La ciencia de los polímeros Biodegradables: Universidad de Guanajuato y Universidad de Guatemala. *XXVI Verano de la Ciencia*, 10, 2-12.
- Rodríguez, N. (2019). Estudio de validación de la iniciativa emprendedora de comercialización de bolsas de bioplástico a partir de almidón de yuca para la recolección de excremento canino en la ciudad de Pereira en el 2022. *Universidad Autónoma de Occidente*, 63-73.
- Shao, L., Xi, Y., & Weng, Y. (2022). Recent advances in PLA-Based antibacterial food packaging and its applications. *National Library of Medicina*, 27(18).
<https://doi.org/10.3390/molecules27185953>
- Torres-Alba, A., Mercado-Colmenero, J. M., Amate-Teva, J. A., & Martín-Doñate, C. (2023). OPTIMIZACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE REFRIGERACIÓN AVANZADA CONFORMAL. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 28(1), 49-63.
- UNAD - Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2024, 5 julio). *Colombia le dice adiós a los plásticos de un solo uso*. UNAD - Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Recuperado 6 de octubre de 2024, de <https://noticias.unad.edu.co/index.php/unad-noticias/todas/6969-colombia-le-dice-adios-a-los-plasticos-de-un-solo-uso#:~:text=El%207%20de%20julio%20de,pl%C3%A1sticos%20de%20un%20solo%20uso>.

