

INTRODUCCION

ANTECEDENTES

Generalidades

Antes de crearse los plásticos, la madre naturaleza era la única y exclusiva fuente de materiales con que el hombre contaba para la realización de sus herramientas, útiles y objetos de uso cotidiano. Las propiedades que ofrecían las piedras, las maderas o los metales no satisfacían todas las demandas existentes así que, el hombre en su innato afán de investigación y búsqueda comenzó a aplicar sustancias que suplieran estas carencias; se manipulan los polímeros naturales: el ámbar, el hasta natural, la goma laca y la gutapercha son los precursores de los polímeros actuales. (García, 2008)

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil (cuyas reservas se agotaban) para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide. Este se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico. (Plásticos, 2015)

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

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

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos, potes y hueveras. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico. (Plásticos, 2015)

En 1976 la compañía británica Imperial Chemical Industries (ICI) creó el primer producto que se comercializaría como bioplástico, y en 1983, Biopol® fue presentado como el primer plástico totalmente biodegradable. (ZEAplast, 2012)

En la última década las necesidades medio ambientales, sociales y tecnológicas, han impulsado al bioplástico como alternativa hacia un mundo sostenible.

Antecedentes globales

En el ámbito internacional en países como Ecuador, México, España y Estados Unidos la comunidad científica ha trabajado en la fabricación de biopolímeros a base de una variedad de materias primas como almidón de maíz, papa, caña de azúcar, yuca y papel. Se usaron distintas metodologías para la fabricación de los biopolímeros, sin embargo, todas las metodologías presentadas utilizaron mezclas de diferentes especies de almidón y otras materias primas como papel utilizando diferentes proporciones para determinar que concentraciones de reactivos presentaban los mejores resultados. Entre las materias primas utilizadas también se involucran plastificantes para mejorar las propiedades de los biopolímeros y agua para la disolución de la mezcla a una temperatura de entre 35 °C y 65 °C. Para que la mezcla se convierta en un biopolímero se utilizaron métodos de aplicación de temperatura y presión como prensas, hornos de calentamiento, baño maría y extrusoras. En la totalidad de los proyectos se utilizaron moldes para darle la forma a los biopolímeros. En las investigaciones realizadas se

obtuvieron biopolímeros con todas las materias primas a excepción del almidón de maíz hidrolizado, a pesar de que su contenido de amilosa es similar al del almidón de maíz nativo, sin embargo, el biopolímero a base de maíz nativo no cuenta con propiedades fisicoquímicas y mecánicas aptas para obtener un prototipo de alguna forma en molde. En los proyectos en los cuáles se agregó glicerina como plastificante, se tuvo mejores resultados, en comparación con otras muestras, ya que los biopolímeros obtenidos presentaron mejor elasticidad, resistencia y dureza aceptable.

Antecedentes locales

En un estudio realizado en la Universidad Mayor de San Andrés, se llegó a sintetizar un polímero de almidón Termoplástico (TPS) en base a almidón de papa utilizando una mezcla de glicerina, urea, ácido acético y agua destilada en diferentes proporciones como agentes plastificantes. La gelatinización se realizó a diferentes temperaturas siendo entre 62°C y 64°C con las que se obtuvieron mejores resultados. Se determinó que el pH es un factor que influye en la rigidez y estabilidad del producto, medios fuertemente ácidos o alcalinos llegan a afectar la estructura del almidón, produciendo masas poco estables y viscosas, el rango óptimo de pH se encuentra entre 5-6. En relación a los plastificantes, con los datos obtenidos, se pudo evidenciar que la muestra sintetizada con una relación de 2 a 1 de glicerina con urea fue la que presentó mejores resultados, en comparación las otras muestras, esta muestra presentó una menor elasticidad, así como una dureza aceptable.

Aspectos Económicos.

En la actualidad el desarrollo económico y los patrones de industrialización de polímeros, en gran medida, generan un aumento sostenido de productos que van a ser consumidos. Por su parte, los esquemas habituales de sobre consumo producen serias afectaciones en nuestro entorno. Y los estándares hoy, nos determinan como una sociedad viva durante la posible era de plástico.

Según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales la composición de residuos depende de patrones de consumo: países con menores

ingresos, producen menos residuos, es decir, aprovechan la composición orgánica. En contraparte los países con mayores ingresos, consumen más inorgánicos, derivado de productos manufacturados. (Semarnat, 2012)

La alta demanda de un nuevo sustituto para el plástico por su alto grado de contaminación es cada vez más insistente como ya se ha visto en investigaciones.

Aspectos Tecnológicos.

Durante este periodo se produce un vertiginoso crecimiento del empleo de algunos polímeros para poder sustituir a otros materiales de difícil adquisición.

A partir de la segunda mitad del siglo XX destacamos que las investigaciones se centran en el descubrimiento de nuevos modos de síntesis de polímeros, los ingenieros de materiales potencian las características de los polímeros ya existentes, nacen otros que pueden considerarse como derivados de los que ya se conocen.

Aspectos Sociales

Los plásticos están presentes en todos los ámbitos de la sociedad. Los avances conseguidos por ésta en los últimos 30 años no habrían sido posibles sin este material, que es fundamental en. Sectores como la agricultura, la industria, la alimentación, la medicina, las telecomunicaciones o el transporte.

Los impactos sociales se presentan y enumeran como logros indirectos generados a partir del acceso al financiamiento, y las actividades de implementación y capacitación llevadas a cabo para tal fin.

Según el Ing. Agrónomo Días Shenker, especialista en comunicación rural, hoy día es frecuente leer o escuchar de materiales, sustancias y productos biodegradables, lo cual se asocia con beneficio ecológico, menor contaminación y una economía en los costos de producción o fabricación. Con ello cobra relevancia el concepto de biodegradabilidad, que a su vez se asocia con el cuidado de los recursos naturales, con el reciclaje, a la reutilización de residuos y la reducción del volumen de desechos que se producen y vierten en diferentes espacios, inclusive públicos. (Sulca, 2020)

Aspectos ambientales

El deterioro ambiental causado por la contaminación de los vertidos de plásticos procedentes de combustibles fósiles y los problemas de la gestión de estos residuos ha generado gran interés por los polímeros biodegradables.

El plástico en el medio ambiente se va fragmentando en trocitos cada vez más diminutos. Que atraen y acumulan sustancias tóxicas. Estos fragmentos contaminan ya todos los mares y costas del planeta. Y están presentes en prácticamente todos los ecosistemas.

En el mundo existe un uso excesivo e inconsciente de los plásticos, generando aproximadamente 200 kg por segundo de residuos plásticos, y en lugar de disminuir con el paso del tiempo, se van acumulando, para que desaparezca un plástico tienen que pasar cientos de años, y en realidad no se degrada en su totalidad, solo se generan partículas más pequeñas de plástico. Esto origina daños al medio ambiente y problemas de salubridad humana. (Erick, 2021)

Es así que este antecedente, enfatiza en el interés de sustituir los plásticos comunes por biomateriales de origen renovable y que además tengan la característica de ser biodegradables.

Conceptualización de la idea de proyecto de grado

La persistencia predominante de materiales plásticos basados en el petróleo en el medio ambiente ha dado lugar a una amplia gama de problemas de contaminación y eliminación de desechos. En consecuencia, los materiales plásticos ambientalmente degradables basados en productos biológicos renovables anualmente, como el almidón, son considerados por muchas personas como una solución a estos problemas. (J-Stage, 2010)

La industria del plástico crece cada año, ésta posee grandes índices de crecimiento desde inicios del siglo pasado. Hoy en día la producción de plásticos supera los 160 millones de toneladas, Sin embargo, el uso indiscriminado y el desecho inadecuado de estos plásticos, ha aumentado descontroladamente; así mismo, ha aumentado el efecto altamente contaminante y nocivo de estas en el medio ambiente y la salud de las personas.

Según el reporte del Banco Mundial, titulado “What a Waste 2.0” (2018), el mundo genera 2 010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales anualmente. Para tener una idea de lo que ésta cifra representa, la misma equivaldría en peso, a más de 14 millones de ballenas azules. Toda esta basura generada está “ahogando” los océanos, lagos, ríos, está obstruyendo los drenajes y causando inundaciones, transmitiendo enfermedades, aumentando las afecciones respiratorias por causa de la quema, está convirtiendo nuestro planeta en un basural. Y el panorama no es alentador, las estimaciones del reporte sugieren que esa cifra incrementaría a 3 400 millones de toneladas de residuos sólidos para el año 2050 (Rocabado, 2019)

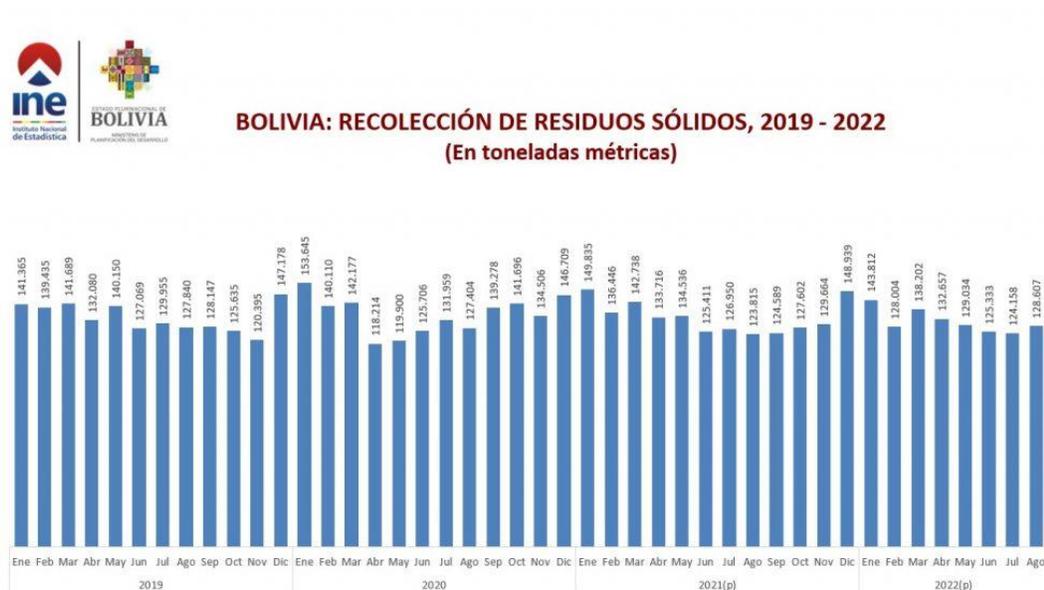
Datos que se deben tomar en cuenta según (Encolombia, 2018):

- Al año, se producen cerca de 100 millones de toneladas de plástico al año.
- 10% de la contaminación en el mundo es por el plástico
- Cerca del 40% del plástico es producido para realizar empaques de plástico.
- Al año, se fabrican más de 500 billones de bolsas en el mundo.
- 13 millones de toneladas de plástico, desastrosamente terminan en el océano.
- Al año, cerca de 100 000 especies mueren al año por el plástico.

Alrededor de 800 millones de toneladas métricas de plásticos se produjeron en todo el mundo en los últimos 67 años, y el 79% de esta producción se acumula en el medio ambiente. (INTECHET open science, 2019)

En el caso de Bolivia, según informes del Instituto nacional de estadística INE se genera 1.7 millones de toneladas de residuos sólidos. En la figura I-1 se muestran los datos de recolección durante los últimos años 2019-2022.

Figura 1: Residuos sólidos generados en Bolivia durante los últimos años



Fuente: INE,2022

De acuerdo a la Figura 1 del total de residuos sólidos que se generan anualmente en Bolivia (1,7 millones de toneladas), 55,2% son residuos orgánicos, 22,1% son desechos reciclables (papel, plástico, vidrios, metales) y el restante 22,7% es basura no reciclable.

Así mismo se estima que en Bolivia anualmente se importan alrededor de 285.000 toneladas de plásticos (60% material manufacturado, 20% material primario y 20% material no primario) con un costo aproximado de 560 millones de dólares. (SASA, 2021)

En cuanto a la producción de papa se genera miles de toneladas de desechos, estos residuos pueden usarse para obtener bioplásticos; por lo que surge la idea de reutilizar los desechos generados en la producción de papa en el departamento de Tarija- Bolivia elaborando un bioplástico a escala de laboratorio.

Actualmente se han desarrollado diversos procesos experimentales para la obtención de bioplásticos a partir de almidón dentro de los cuales se destacan los procesos desarrollados con almidón de maíz y yuca, se ha ido incursionando en el estudio de la morfología del almidón de papa por su versátil aplicación en la industria. Es por ello que con este proyecto se pretende reducir la contaminación sustituyendo el plástico convencional que tarda años en degradarse por uno que sea biodegradable y que sea desintegrado por microorganismos que se encuentren en el medio ambiente, y de estudiar las condiciones óptimas de temperatura, composición de almidón y pH óptimo para mejorar su resistencia y biodegradabilidad.

El principal fin del proyecto busca presentar una alternativa rentable al uso del plástico, por ello también se muestra no solo la posibilidad del uso del material biodegradable.

Caracterización/Descripción del producto.

Los plásticos biodegradables se distinguen del resto de plásticos porque, es un plástico que se descompone de forma natural en el medio ambiente. Esto se consigue cuando los microorganismos en el medio ambiente metabolizan y descomponen la estructura de plástico. Además de ser elaborados a partir de materias primas renovables, normalmente a partir de origen natural, ejemplo almidón o celulosa.

Figura 2: Representación gráfica de la biodegradabilidad.



Fuente: (Areaciencias, 2022)

Para su elaboración se utilizan estructuras químicas las cuales hacen que los microorganismos puedan degradar dicho material, sin embargo, algunos plásticos biodegradables derivan del petróleo y no se deben confundir con los bioplásticos, estos productos (biodegradables) derivados del petróleo no satisfacen las normas internacionales de biodegradabilidad como: DINV 54900, ISO 14855, EN 13432, en tanto que los bioplásticos si cumplen con estas normas. La degradación de los bioplásticos desechables es menor a un año y el residuo final es generar CO₂, H₂O y biomasa. Es lo opuesto a los productos plásticos desechables y de poliestireno expandido que se pueden demorar hasta 1,200 años en degradarse en los ecosistemas lo cual genera contaminación acumulativa. (Ortega, 2019)

Procesos tecnológicos empleados

Proceso tradicional.

El proceso tradicional hace referencia a la obtención de un bioplástico de manera simple (al almidón no se le realiza ninguna alteración y el proceso de obtención del producto final, no requiere de equipos con controles de velocidad, temperatura, presión entre otros. Es un método en el cual se varían las diferentes concentraciones de almidón (como materia principal), agua (hidratante y plastificante), glicerol (plastificante) y ácido acético (modificador químico) para de esta manera, obtener una formulación con buena relación de sus materias primas, originando un producto final con propiedades mecánicas y físicas que coincidan con los plásticos provenientes del petróleo; cabe aclarar que los modificadores químicos no alteran la estructura del almidón, estos facilitan la interacción molecular con los plastificantes. Durante todo el procedimiento se hace uso de la agitación magnética, manual y temperatura ambiente, mientras se logra una solución totalmente homogénea. Luego se eleva a una temperatura máxima de hasta 65°C para que proceda la gelatinización del almidón con un tiempo de producción entre 20 y 30 minutos, sin dejar la agitación durante el proceso de calentamiento.

Los equipos para el desarrollo de este proceso son de fácil acceso en un laboratorio (sin tomar en cuenta las pruebas mecánicas, y fisicoquímicas del producto). Por otro lado,

el tiempo total de producción del bioplástico está en un rango de 15 a 25 minutos, sin embargo, el proceso de secado está entre 36 a 48 horas a temperatura ambiente y el acceso a materia prima es sencillo ya que los materiales como el almidón, la glicerina, los modificadores químicos y el agua destilada son de venta libre (pueden ser adquiridos por cualquier persona natural sin ninguna restricción). (Ortiz alfaro, 2010)

Proceso con almidón modificado

Tiene como objetivo modificar el almidón de forma química; este método se constituye en la sustitución de los hidrógenos presentes en los grupos hidroxilos de la molécula de la amilosa, diversos métodos se han desarrollado para lograr un producto con mejores características aumentando la resistencia, permeabilidad, procesabilidad y la compatibilidad con algunos productos hidrofóbicos, en comparación con el proceso tradicional mencionado, este proceso cuenta con una etapa adicional, que consiste en que previo a iniciar el proceso de obtención de la película plástica, se realiza la modificación a la molécula del almidón a través de acilación o termoformado.

La acilación del almidón se ha desarrollado a partir de la esterificación del almidón con anhídrido acético, vinil acetato o ácido acético, este proceso se divide según el tipo de acetilación formada o requerida. El proceso de acilación por termoformado es una opción apropiada para modificar el almidón y mejorar el proceso debido a que reduce tiempo de producción y mejora las propiedades finales del producto de interés. Sin embargo, al momento adquirir los equipos necesarios para garantizar las condiciones del proceso se torna sumamente costoso; por esto a nivel experimental se usa la acilación química a temperatura y presión ambiente procesos que también arrojan buenos resultados, pero requieren más tiempo.

El acceso a la materia prima es complejo ya que el anhídrido acético y el ácido acético glacial, son productos controlados además el ácido clorhídrico es un insumo con restricción de venta institucional, esto quiere decir que solo empresas constituidas pueden adquirir este componente. Los equipos para este proceso son más especializados con respecto al proceso anterior, los cuales se encuentran en laboratorios analíticos y de calidad, los cuales no son de fácil acceso. (Cardona, 2019)

Proceso con matriz reforzada

Un último proceso revisado fue el proceso con matriz reforzada en el cual se agrega cualquier material orgánico (fibras, polisacáridos) o químico (acetato de polivinilo, alcohol polivinílico, poliestireno, polipropileno, entre otros) al almidón, los cuales podrían suplir falencias como las deficiencias estructurales, grado de deformación, espesor, resistencia y permeabilidad. (Cardona, 2019)

En la aplicación de este proceso desarrollado por Espina y otros, se agregó a las mezclas (de almidón modificado y agua destilada), fibras como el bagazo de caña de azúcar y peladilla de espárrago, las cuales aportan rigidez y resistencia al material.

De esta manera, integrar este tipo de materiales mejora sustancialmente la matriz polimérica, gracias a este estudio se realizan nuevos prototipos en donde se incorporan materias primas orgánicas como la Celocell (hidroxi-etil-celulosa), chitosan, xantan entre otras, todo esto para favorecer la calidad del producto final.

Por último y desarrolladas las formulaciones con un diseño de experimentos, se le adicionaron los pellets de poliéster amida, los cuales refuerzan la matriz polimérica, dejando la materia prima lista para la formación de la película del bioplástico

En conclusión, este proceso posee un costo más elevado respecto al proceso tradicional y el proceso de almidón modificado puesto que requiere de más materias primas, pero menores tiempos de producción los cuales están entre 13 y 14 horas, mejora la apariencia del bioplástico dándole una coloración más agradable para el consumidor final. (Cardona, 2019)

Materias primas

Usos

Existen cada vez más estudios sobre el potencial uso de la cáscara de papa como un aditivo en alimentos debido a su efecto antioxidante. La cáscara de papa tiene alto contenido de compuestos fenólicos, principalmente ácidos fenólicos. Alrededor del 90% de estos compuestos lo constituye el ácido clorogénico, mientras que el ácido caféico, ácido gálico y ácido protocatecuico se encuentran en menor concentración. (UTRERAS, 2015)

Ciertas investigaciones han determinado que estos compuestos presentes en la cáscara pueden ser extraídos y usados para prevenir las reacciones de oxidación de los aceites y grasas. La cáscara de papa es un desecho de gran volumen en las industrias de alimentos. Como una forma de aprovechamiento se investigó su uso como antioxidante natural en hamburguesas de res pre fritas y congeladas, por ser una fuerte importante de compuestos fenólicos.

Aprovechamiento

A pesar de esta grande producción, el consumo de papa fresca está disminuyendo, mientras que los productos obtenidos de su procesamiento aumentan cada vez más para satisfacer la creciente demanda de comida rápida. Las industrias pelan las papas como parte de la producción de papas fritas, chips, puré, etc.

El desecho obtenido de esta operación varía desde 15 a 40% dependiendo de la técnica de pelado que se utilice. Como, por ejemplo, pelado por vapor, abrasión. En consecuencia, cantidades considerables de desecho de cáscara son generados en las industrias procesadoras de papa. De este modo, el manejo de residuos para estas industrias es un problema de gran importancia.

Por tal motivo uno de los objetivos de este proyecto es buscar el aprovechamiento de residuos, para disminuir la contaminación ambiental y generar un plástico biodegradable a partir del almidón que esta cáscara contiene dentro de sus componentes.

Objetivo General

- Obtener plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa a escala laboratorio.

Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima. (almidón de cáscara de papa) para la elaboración de plástico biodegradable.
- Seleccionar el proceso tecnológico industrial de elaboración de plástico biodegradable a partir de cáscara de papa.
- Formular, diseñar y ejecutar la fase experimental del proceso de elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa.
- Determinar las propiedades del material y parámetros a medir para la caracterización del bioplástico según normas y estándares de calidad vigentes.
- Realizar el estudio de costos del proyecto.

Justificación del proyecto.**Justificación económica**

Se obtuvo plástico biodegradable de origen renovable, además de la fácil adquisición de la materia prima siendo estos desechos, los bioplásticos se abren camino rápidamente en empaques y otras aplicaciones durables por lo que podría experimentar aumento sustancial de la demanda, avance e ingresos para el país.

Justificación tecnológica

Se justifica esta investigación como una contribución sustancial para la ingeniería y para el avance tecnológico en el ámbito de la ingeniería de los plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscara de papa, Con la investigación se aportará a la industria, desarrollando metodologías y técnicas de degradación de plásticos.

Justificación ambiental

Se podrá motivar la utilización de este nuevo producto mediante la concientización que se debe tener para el cuidado del medio ambiente a las industrias y usuarios que demandan bolsas de empaques plásticos.

“Cada año la fabricación de diversos envases para refresco y agua purificada se incrementa en 50 000 toneladas. Cada año se forma basura plástica de 8 000 a 12 000 millones de recipientes desechados llegando a alcanzar un consumo anual de plástico por persona es de 40 kg, convirtiéndose en 400 000 toneladas anuales van a parar a basureros, calles, terrenos, cauces de ríos.”

Motivo por el cual el presente proyecto de grado se orientará a buscar la biodegradación de envases plásticos flexibles a base de residuos orgánicos.

Justificación personal

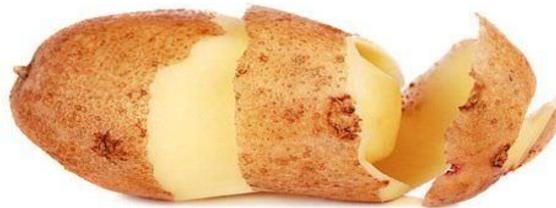
Con el presente proyecto se pretende aplicar y demostrar todos los conocimientos adquiridos en la formación universitaria para elaborar un estudio de investigación aplicada sobre la elaboración de plástico biodegradable, y contribuir a la sociedad con los estudios realizados en este trabajo.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. La papa

La papa es un tubérculo comestible que posee un gran contenido de carbohidratos, es conocida en todo el mundo, se prepara y se ofrece en una gran diversidad de formas. En estado fresco de cosecha, abarca un 80 % de agua y un 20 % de materia seca. En cuanto al contenido de almidón en materia seca esta entre el 60 al 80 por ciento (Aristizabal y Sanchez, 2007)

Figura I-1: La papa.



Fuente: (y.como.net, 2017)

1.2. Cáscara de papa

La cáscara de papa contiene un gran contenido de almidón es un alimento muy nutritivo que desempeña funciones energéticas, Además, posee un rico contenido de potasio, fósforo, calcio, hierro, azufre, cobre, así como la importante vitamina C. Todos conforman un conjunto de nutrientes muy beneficiosos. Por su alto contenido de fenoles, la papa se convierte en un alimento antioxidante y anticancerígeno.

“La principal función de la cáscara de la papa es proteger los nutrientes que se encuentran en el tubérculo, por lo que, al pelarla, pierde nutrientes.” (Carmona, 2020)

Figura I-2: Cáscara de papa



Fuente: (Bienestar180, 2018)

El 50% de la cáscara de papa está compuesta de polisacáridos, conocido por ser un tipo de fibra dietética. Tradicionalmente son utilizadas como remedios caseros para tratar ciertas enfermedades y diversos síntomas. (Argenpapa)

1.2.1. Composición de la cáscara de papa.

La tabla I-1 muestra la composición de los residuos de cáscara de papa "Solanum tuberosum" de variedad canchan de tipo rosada.

Tabla I-1: Composición de residuos de cáscara de papa

PARAMETROS	PESO SECO %
Humedad	85.06
Carbohidratos totales	68.7
Azúcares solubles totales	1
Azúcares reductores	0.61
Almidón	1.3
Proteínas	8
Ceniza	6.34

Fuente: (Arapoglou, 2010)

La cáscara de la papa considerada "sin valor" en la industria de la papa tienen un abundante contenido de almidón un polvo fino y sin sabor, de "excelente textura", da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más gustosos (Farinaceas, 2011).

La fibra alimentaría representa 1-2% del total de la papa y se encuentra preferentemente en la piel. Tienen muchos carbohidratos, por lo cual son una buena fuente de energía. Tienen el contenido más elevado de proteínas (en torno al 2,1% del peso del producto fresco (FREIDMEN, 1997).

1.3. Almidón

El almidón es un polisacárido de reserva energética de origen vegetal, se puede encontrar en los frutos, semillas, hojas y tubérculos. Su función consiste en ser la reserva de carbohidratos de los vegetales, es insoluble en agua fría y se presenta en la naturaleza en forma de gránulos. (Batvani, 2015)

Figura I-3: Almidón

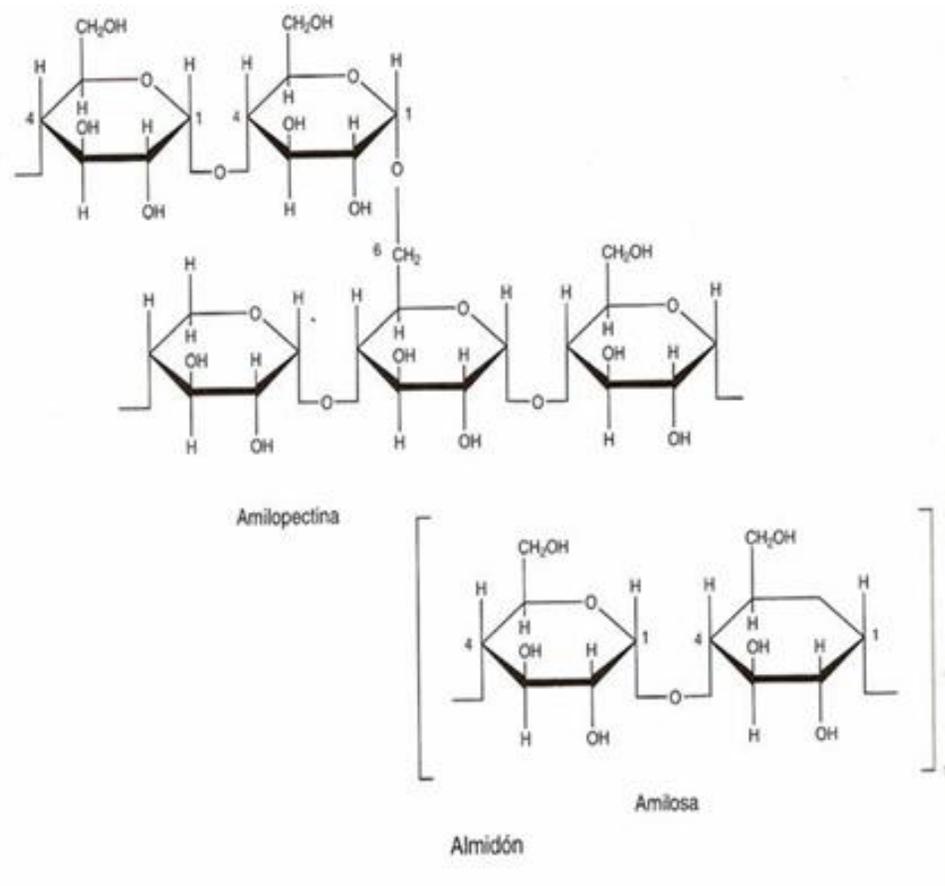


Fuente: (Flexicom, 2022)

El almidón se caracteriza por ser un polvo fino blanquecino de extraordinaria textura, sin sabor y sin olor, el cual brinda una mayor viscosidad en comparación con los almidones de maíz y de trigo, además de posibilitar y facilitar la elaboración de productos más apetecibles (FAO, 2008b).

Es el carbohidrato de mayor opulencia vigente en la naturaleza y es una de las principales reservas de energía de las plantas y se encuentra en fuentes tan diversas como: en semillas de plantas leguminosas de lentejas y frijoles, en semillas de cereales como el arroz, el trigo y el maíz, en el tallo la palma de sagú, en tubérculos como la papa, en hojas como las del tabaco, en frutas como las manzanas y los guineos, y finalmente en raíces como el camote y la yuca. (ARISTIZABAL Y SANCHEZ, 2007)

Figura I-4: Estructura del almidón



Fuente: (Gonzalo García, 2018)

En la Figura I-4 se observa la estructura del almidón es un polisacárido de glucosa con dos fracciones, por un lado, la amilosa que constituye un 20% y la amilopectina que conforma el 80% restante. A través de hidrólisis, el almidón da glucosa, y seguidamente por acción de enzimas (la enzima amilasa concretamente), da maltosa, el cual es un disacárido de la glucosa que, a su vez, por la acción que ejerce la maltasa, termina produciendo también la glucosa.

1.3.1. Propiedades del almidón

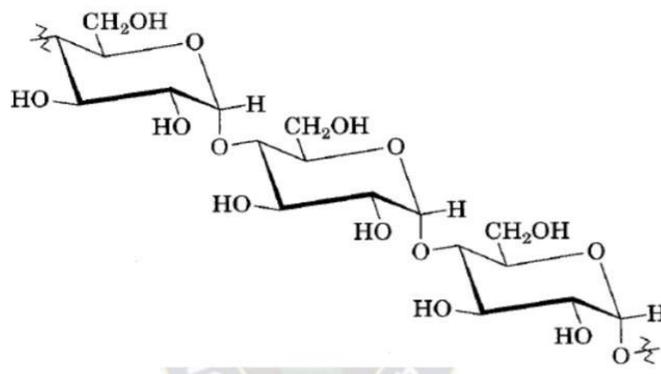
La propiedad de interés en el almidón natural radica en su semicristalinidad, por tal razón la amilopectina el elemento imperioso que coadyuva a la cristalización en la mayoría de los almidones. Las propiedades comercialmente significativas del almidón, que hacen referencia a su flexibilidad y a su resistencia mecánica, aquellas que se rigen en la fuerza y en la naturaleza de la zona cristalina, y además del nexo entre la amilopectina y la amilosa, del mismo modo se contempla la clase de planta, el nivel de ramificación, la fracción del peso molecular y el procedimiento de estructuración de los tipos de componentes en el polímero. (QUIÑONES, 2015, p. 15)

1.3.1.1. Amilosa

La amilosa es un polímero lineal que consta de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos, generalmente se encuentra entre 1000 unidades de glucosa por molécula de amilosa y tiene forma de espiral, los polímeros de la amilosa tienden a agruparse muy estrechamente en forma paralela mediante la formación de puentes de hidrógeno entre los hidroxilos de los polímeros adyacentes reduciendo así su afinidad por el agua. (Aristizábal y Sánchez, 2007)

A continuación, en la Figura I-5 se observa la estructura de una molécula de amilosa una cadena de tipo lineal de glucosas con uniones alfa de tipo $1 \rightarrow 4$.

Figura I-5: Estructura de una molécula de amilosa



Fuente: Química Orgánica, McMurry, 2021

“Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glicosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice. ” (RIVERA-ARREDONDO, 2020, p. 32)

Los almidones ricos en amilosa (sustancia soluble en agua) preservan su estructura en el momento que se moldean y gelifican, entretanto los almidones carentes de amilosa se espesan, pero no gelifican. Las partículas de amilosa son alrededor de la cuarta parte del almidón (López, 2008)

1.3.1.2 Amilopectina

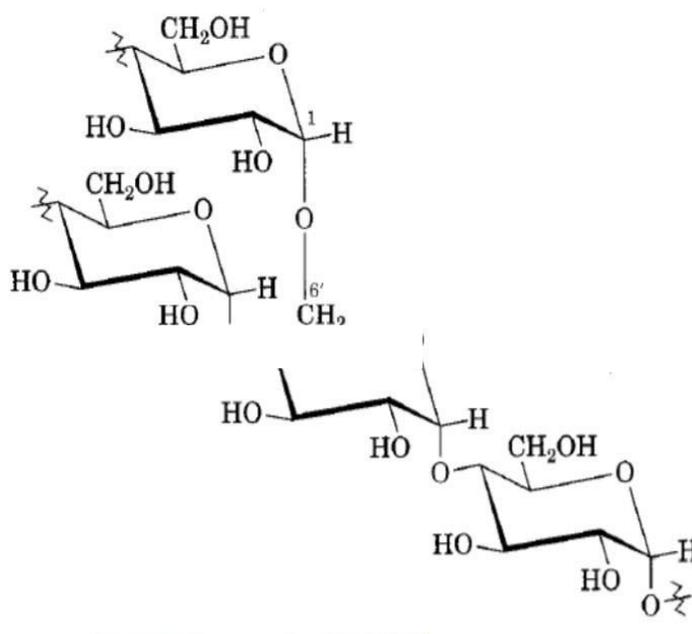
La estructura de la amilopectina, ubicada en la capa exterior, es distinta a la de la amilosa.

Está constituida por cadenas de glucosa anexadas por enlaces glicosídicos α -1,4. A diferencia de la amilosa, en la amilopectina a cada 15 a 30 unidades hay una ramificación las cuales se deben a los enlaces glicosídicos α -1,6 con otras moléculas

de glucosa como se observa en la figura 4-2. Las ramificaciones hacen que la amilopectina sea menos soluble en agua que la amilosa. (RUIZ, 2006, p. 25)

Las moléculas de amilopectina son relativamente de mayor tamaño en comparación con las moléculas de amilosa, un grupo de ellas poseen entre 10.000 y 20 millones de unidades de glucosa. El peso molecular de la amilopectina está entre 1.000000 a varios millones. Cuya susceptibilidad a retrogradación en la amilosa es alta a diferencia de la amilopectina que es baja. (DURAN et al. 2005)

Figura I-6: Estructura de una Molécula de Amilopectina



Fuente: Química Orgánica, McMurry

1.4. Gelatinización del almidón

Se define como la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. Los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos, en suspensión acuosa los granos se hinchan por la acción del calor, tienden a perder las propiedades que le confiere su estructura semicristalina y a una temperatura crítica forman un gel. (Batvani, 2015)

La formación del gel no se produce hasta que se enfría el almidón gelatinizado. La temperatura a la que diversos almidones gelatinizan es realmente un intervalo específico para cada almidón, los gránulos dentro de un almidón se hincharán y espesarán mezclas a temperaturas ligeramente diferentes, hinchándose primero los gránulos más grandes que los pequeños. En resumen, las etapas en el proceso de gelatinización son las siguientes:

- La temperatura de gelatinización se alcanza dependiendo del tipo de almidón, normalmente un aproximado varía entre 60 a 71°C para su inicio.
- La energía cinética de las moléculas de agua caliente rompe los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón. A medida que se forman puentes de hidrógeno, el agua es capaz de penetrar más profundamente en el gránulo de almidón y tiene lugar el hinchamiento. Debe estar presente suficiente agua para entrar y agrandar el gránulo de almidón.
- Se produce la difusión de algunas cadenas de amilosa a medida que salen de los gránulos de almidón.
- Se pierde la birrefringencia y la estructura cristalina ordenada del gránulo de almidón nativo. Es claramente más traslucido porque el índice de refracción del gránulo expandido está próximo al del agua.
- El hinchamiento del gránulo aumenta a medida que aumenta la temperatura. Los gránulos más grandes son los primeros en hincharse.
- Los gránulos de almidón hinchados ocupan más espacio y la mezcla espesa

a medida que los gránulos se agrandan liberando amilosa y posiblemente amilopectina.

- La pasta de almidón continúa volviéndose más espesa, más viscosa y resistente al flujo a medida que gelatiniza.
- Un exceso de agitación hace menos espesa la mezcla de almidón calentado a medida que los gránulos de almidón hinchados se rompen y pierden algo del líquido que retienen en el interior los gránulos agrandados. (Vaclavik; Christian, 2002)

1.4.1. Factores a tomar en cuenta durante la gelatinización del almidón

1.4.1.1. Agitación

La agitación tanto inicialmente como durante el proceso de gelatinización, permite a los gránulos de almidón hincharse independientemente y crear una mezcla más uniforme, sin grumos. Sin embargo, agitar la mezcla después de que se completa la gelatinización puede romper los gránulos y en consecuencia puede aumentar la fluidez de las mezclas de almidón. (Batvani, 2015)

El tiempo de agitación para el proceso de obtención del bioplástico radica entre los 30 min a 45 min dependiendo de la cantidad de mezcla a hacer empleada.

1.4.1.2. Temperatura

La gelatinización se completa a 65-75°C que puede variar dependiendo del tipo de almidón usado. Cuando se alarga el tiempo de calentamiento, la mezcla final puede ser menos espesa debido a la rotura de los gránulos agrandados, alternativamente este puede producir la evaporación del agua, evitando la aclaración de la mezcla. (Vaclavik y Chistian 2002, p.51)

1.5. Aplicaciones industriales del almidón

En la Tabla I-2 se muestra las diferentes aplicaciones del almidón en las diferentes industrias.

Tabla I-2: Aplicaciones del almidón de cascara de papa

Industria	Aplicaciones
Alimentaria	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación de edulcorantes (fructuosa y glucosa). • Pastelería y repostería como suplente de la harina de trigo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizante o espesante de helados, sopas, salsas y gelatinas. • Panadería en productos horneados el almidón incrementa la esponjosidad y quebralidad en galletería. • Bebidas alcohólicas el almidón se fermenta y se destila para producir el vodka y el aguardiente.
	<ul style="list-style-type: none"> • Metalurgia, actúa como floculante selectivo y como agente floculante en minas de potasio.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea también en sistemas de tratamiento de aguas.
Química	<ul style="list-style-type: none"> • Para la fabricación de pegamentos y espumas de poliuretano.
Plásticos	<ul style="list-style-type: none"> • Para procesamiento de productos desechables como platos, cuchillos y para vajillas. Actúa como sustituto cien por ciento biodegradable del poliestireno y otros plásticos.

Fuente: Elaboración propia, 2021

1.6. Bioplásticos

El bioplástico es “un plástico de origen natural producido por un organismo vivo y con carácter biodegradable, sintetizado a partir de fuentes de energía renovables, por lo que apenas produce contaminación” (López, 2009).

Se caracterizan por la facilidad de descomponerse y transformarse en materia orgánica una vez finalizado su ciclo de vida útil, lo cual genera un «residuo cero» en el medioambiente.

Los bioplásticos se degradan en un periodo menor a un año, donde el residuo final del proceso es la generación de CO₂, agua y biomasa. Al contrario de los productos desechables plásticos (polietileno, polipropileno) y de poliestireno expandido (Espumaflex) que tardan hasta 1 200 años en degradarse, generando una contaminación acumulativa al ecosistema. (García, 2015b. p.20)

Figura I-7: Productos biodegradables



Fuente: Ambiente plástico., 2020

En la Figura I-7 se observan los diferentes productos biodegradables tales como bolsas, vasos, botellas etc.

1.6.1. Componentes para la elaboración del bioplástico

Para hacer posible la elaboración de un bioplástico a partir de almidón, se requiere la adición de ciertos reactivos en la mezcla que aseguren las condiciones necesarias para su obtención. Por esta razón los bioplásticos precisan de componentes que proporcionen características de plasticidad, humectación, espesantes, resistencia, lubricación y desmoldantes. (Meneses et al.2007)

1.7. Plastificantes

Los plastificantes son materiales de baja volatilidad que se agregan a un polímero para aumentar su flexibilidad, elasticidad y fluidez en estado fundido.

Un plastificante se define como un material, que se incorpora a un plástico para facilitar su proceso y mejorar su flexibilidad o distensibilidad. La adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad en estado fundido, el módulo de elasticidad y la temperatura de transición vítrea de un plástico, la incorporación de los plastificantes mejora el proceso de gelatinización, proceso indispensable para la obtención del almidón plástico. (Garrido, 2021)

1.7.1. Glicerina

Es una sustancia viscosa, incolora, de sabor dulce y de olor característico, compuesta principalmente por alcohol el cual dispone de tres grupos hidroxilos (OH) y cuya fórmula molecular es $C_3H_8O_3$. Esta sustancia no es tóxica, presenta solubilidad en agua y además se deshace en hervor. De igual manera que el agua destilada el glicerol también es considerado como un plastificador, el cual proporciona suavidad y humectación al almidón. Este compuesto es de gran importancia para la retrogradación de artículos termoplastificados, asimismo su comportamiento como lubricante suministra la movilidad necesaria para las cadenas poliméricas correspondientes al almidón. (Méndez, 2010)

1.7.2. Agua destilada

Es el agua resultante de un proceso minucioso de destilación de la cual fue sujeto con la finalidad de suprimir las impurezas. Por medio de la destilación se consigue un agua carente de cloruros, calcio, fluoruros y magnesio. Su fórmula química es H_2O . Este tipo de agua es usada como un plastificador para alcanzar la desintegración estructural del almidón durante la preparación de la mezcla para generar un almidón termoplástico, el cual se emplea con la intención de conseguir propiedades mecánicas, así como también propiedades de barrera optimas, teniendo en cuenta una vez más que el agua es el plastificador más cuantioso aparte de ser económico. (Quimipedia, s.f.)

1.7.3. Pectina

Este polisacárido es utilizado por las industrias alimentarias como aditivo natural empleándolo en sus productos como gelificante, espesante, emulsificante y estabilizante.

1.7.4. Ácido acético

Es un líquido incoloro de olor distintivo que presenta solubilidad en agua. Se denomina también como ácido etanoico, se caracteriza por ser un ácido orgánico que se presencia principalmente en el vinagre el cual le brinda ese sabor avinagrado. Su fórmula molecular es $(C_2H_4O_2)$. Se trata de un aditivo sugerido que actúa como modificador químico, debido a que reduce la naturaleza hidrofílica del almidón, otorgándole particularidades hidrofóbicas a dicho material con cual se trabaje. (Rosales, 2016)

1.9. Aplicaciones de los plásticos biodegradables

A continuación, en la Tabla I-3 se muestran algunas de las aplicaciones de los plásticos biodegradables en la industria.

Tabla I-3: Aplicaciones de los plásticos biodegradables

Industria	Aplicaciones
Alimentaria	Para la producción de empaques biodegradables, envolturas comestibles para la preservación de las frutas, pescados, carnes entre otros.
Envases	Para la producción de envases, que se derivan en mercados de envases flexibles como son las bolsas y los films; envases rígidos como las bandejas, vasos y botellas.
Química	Para la producción de artículos de higiene, en espumas, para juguetes amigables con el medio ambiente y para llantas de vehículos.
Electrónica	Carcasa para walkman y cubiertas para teléfonos móviles que tienen la característica de ser reutilizadas a través del compostaje.

Fuente: Elaboración propia, 2021

1.10. Fundamentos para la caracterización del bioplástico

Una característica fundamental de los BPL es la biodegradabilidad lo que implica degradación y destrucción por la acción de los hongos y bacterias, bajo condiciones ambientales determinadas. A continuación se mencionan los fundamentos tomados en cuenta para la caracterización del bioplástico.

1.10.1. Determinación de humedad

Se define a la humedad como el agua que se dispersa en una pequeña cantidad en forma de vapor, dentro de un sólido o condensado en una superficie (Oxford, 2019).

Los procedimientos de secado son los más recurrentes para estimar la cantidad de humedad en determinados productos, estos se llevan a cabo por calentamiento y en base a normas establecidas. La cuantificación de la cantidad de humedad ejerce una función esencial que permite certificar la calidad de dicho producto a escala industrial.

Para la determinación la muestra se coloca sobre el plato de una balanza, exponiéndola a los rayos infrarrojos por un determinado tiempo. La diferencia entre el peso inicial y el final corresponde al agua que fue eliminada.

1.10.2. Determinación del espesor

Se define espesor como el grosor de un elemento, es decir, que tan grueso o ancho es una capa de material. En ingeniería el espesor define la resistencia o elasticidad de un material y este se puede determinado por medición directa con micrómetro (Sánchez, 2017).

En la industria de los revestimientos, la medida más crítica es la del espesor de la película seca, ya que brinda un reporte esencial con respecto a la vida útil del material, la competencia del producto acorde a los objetivos previstos y el aspecto que presenta, aparte de garantizar la certificación de estatutos internacionales. (Elcometer, 2016)

1.10.3. Determinación del ensayo de resistencia a la tracción

De acuerdo con la norma INEN 2637, el ensayo de tracción permite la determinación de un punto final de la degradación, es decir el un punto frágil para películas y láminas de polietileno/polipropileno degradable. La propiedad de alargamiento por tracción puede variar con el espesor de la probeta, el método de preparación, la velocidad de ensayo, el tipo de mordazas empleadas, y la forma de medir la extensión de ensayo. Por lo tanto, este ensayo muestra la resistencia a la tracción y la deformación a la rotura que el material en cuestión tiene la capacidad soportar.

1.10.4. Determinación de la biodegradación

Para seleccionar un plástico como material biodegradable debe tenerse en cuenta tanto las propiedades mecánicas como el tiempo de degradación necesario para una aplicación en particular. Los factores que influyen en la velocidad de degradación son:

- Condiciones de los medios tales como: temperatura, humedad, pH.

La compostabilidad se define como la biodegradabilidad del material en condiciones establecidas utilizando un medio de compost. De manera que la compostabilidad según a lo establecido por la norma ASTM, requiere que el plástico se descomponga en biomasa, CO₂ y agua. Esto conduce a un cambio significativo en la estructura química del material. (Ipsita y Visakh, 2015)

Cabe señalar que los nuevos materiales bioplásticos desarrollados por las industrias de productos desechables como las fundas a base almidón son biodegradables, desintegrantes y carecen por completo de ecotoxicidad, debido a que pueden ser incineradas, porque el CO₂ producido por la incineración es equivalente al que anteriormente fue absorbido por las plantas utilizadas para su fabricación durante su crecimiento. Estos productos cumplen con la norma europea EN 13432, cuyo umbral de biodegradabilidad exigido por la norma es del 90% y un máximo de seis meses y en cuanto a la desintegración, y cuyo material debe quedar fragmentado en segmentos

pequeños transcurridas las 12 semanas. (Ambienta, 2007)

El material debe desintegrarse en un 90 % en fragmentos menores a un tamaño específico (usualmente 2x2 mm), dentro de un plazo determinado según la norma (usualmente 12 semanas).

Tabla I-4: Normas técnicas de referencia

Norma	Descripción
NTP-ISO 4593:1998 (revisada el 2019)	Plásticos Películas y hojas de plástico. Determinación del espesor por medición directa a con micrómetro.
ASTM E125298(2013)	Práctica estándar para técnicas generales para obtener espectros infrarrojos para análisis cualitativo.
ISO 14855-1: 2012	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. Método por análisis de dióxido de carbono generado. Parte 1: Método general
ISO 14855-2: 2018	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. Método por análisis de dióxido de carbono generado Parte 2: Medición gravimétrica de dióxido de carbono generado en una prueba a escala de laboratorio

Fuente: GRUPO PLASTICO BIODEGRADABLE, 2021

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

II. METODOLOGIA DE ESTUDIO

2.1. Metodología de la parte experimental

En el presente proyecto se aplicó la metodología cuantitativa, donde a través de la parte experimental se realizó una serie de combinaciones de insumos para obtener el nuevo producto. Al procesar el almidón procedente de las cáscaras de papa variando las condiciones con reactivos que cumplieron la función de plastificantes, humectantes, espesantes y desmoldantes, se obtuvieron láminas de bioplástico que posean características similares a los plásticos tradicionales en base a las normativas planteadas llevando a un análisis de laboratorio para determinar su composición.

2.2. Selección del proceso

Pretendiendo definir el método más adecuado para la obtención de un bioplástico, lo que requiere de un ejercicio de revisión de los diferentes procesos desarrollados por otros autores, para lo cual se tienen en cuenta las diferentes características que estos poseen y con clasificarlos según sus similitudes y diferencias.

De acuerdo a los antecedentes mencionados anteriormente dentro los procesos tecnológicos empleados se mencionan tres procesos:

1. Proceso tradicional
2. Proceso con almidón modificado
3. Proceso de matriz reforzada

Inicialmente, se revisa el método tradicional que hace referencia a la obtención de un bioplástico de manera simple (al almidón no se le realiza ninguna alteración y el proceso de obtención del producto final, no requiere de equipos con controles de velocidad, temperatura, presión entre otros y se puede obtener de forma artesanal). Se agrupan algunas investigaciones que aplicó este proceso, en las cuales el material obtenido se somete a ciertas pruebas físico- químicas, donde se observó que los almidones provenientes del maíz, papa y yuca tienen los mismos grupos funcionales como lo son alcoholes, grupos aldehídos y cetona lo cual es de utilidad para comparar

el comportamiento de estos. Luego de estudiar y analizar el método tradicional, se considera el proceso con almidón modificado, en el cual se destaca el método de acilación, que modifica químicamente el almidón. Al realizar esta modificación las propiedades mecánicas del bioplástico mejoran en relación con las obtenidas en el método tradicional. Según la literatura, los hallazgos en los métodos anteriores refieren que los productos obtenidos no cumplían con las características físico químicas propias de un plástico como la resistencia, dureza, olor, color, forma, entre otras, por lo anterior se hizo necesario revisar un tercer método: matriz reforzada, en el cual se usan elementos orgánicos o químicos, que logran mejorar sus propiedades mecánicas o suplir deficiencias a nivel estructural, que se observaron en los dos procesos anteriormente mencionados.

Tomando en cuenta los siguientes aspectos como calidad, equipos, tiempo, accesibilidad, se procede a la ponderación de factores para la posterior selección del proceso tomando en cuenta la siguiente escala de puntuación en la Tabla II-1.

Tabla II-1: Escala de puntuación

ESCALA DE PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN
Excelente	9-10
Muy buena	7-8
Buena	5-6
Regular	3-4
Mala	1-2

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla II-2: Matriz de factores ponderados para la selección del proceso

FACTORES		ALTERNATIVAS					
		PESO RELATIVO	CALIFICACION PROCESO 1	(P)* C	CALIFICACION PROCESO 2	(P)* C	CALIFICACION PROCESO 3
Calidad del producto	55%	5	2,75	5	2,75	8	4,4
Equipos de proceso	15%	10	5,5	5	2,75	2	0,3
Tiempo de producción	15%	5	0,75	5	2,75	4	0,6
Acceso a la materia prima	15%	10	5,5	5	2,75	4	0,6
Puntuación total	100%		14,5		11		5,9

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde: P*C= Peso relativo * Calificación

2.2.1. Proceso Seleccionado

En la Tabla II-2, La matriz de factores ponderados arrojó la puntuación para cada uno de los procesos estudiados. El proceso 1 (Proceso tradicional) fue el proceso que obtuvo mejor puntuación esto debido a la disponibilidad de equipos e insumos, el ácido acético cuenta con restricciones para su adquisición, sin embargo las empresas constituidas pueden adquirir el reactivo, declarando el uso, el resto de materias primas se puede encontrar con gran facilidad, los equipos necesarios para la implementación de este proceso no son sofisticados, lo cual indica que no requiere una gran inversión, el tiempo de producción no es tan prolongado lo que sugiere un productividad alta, además de la rotación de inventarios en las materias primas y en el producto final.

Es importante mencionar el tiempo de producción por lo cual esto determina en cierta medida la capacidad de producción en un ambiente a nivel industrial. Así mismo el acceso a la materia prima también es un ítem importante para la producción ya que define la capacidad de producción y la calidad del producto.

2.3. Selección de las variables del proceso

Las variables que se tomaron en cuenta para el diseño factorial fue la combinación de aditivos que cumplen la función de plastificantes, humectantes, espesantes y desmoldantes por lo que se obtuvieron láminas de bioplástico que con características similares a los plásticos tradicionales en base a las normativas planteadas.

2.3.1 Variable independiente

- Combinación de aditivos (% glicerina - % pectina)

2.3.2. Variable dependiente

- Espesor

Se optó por el espesor de la lámina debido a que permite el flujo uniforme del proceso así mismo es de importancia por lo que de acuerdo al espesor se puedes determinar la buena o mala resistencia del mismo.

2.4. Diseño factorial

En el diseño factorial se realizaron todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores que intervienen en el experimento.

Los diseños factoriales más sencillos son los diseños 2^k , k corresponde al número de factores que intervienen en el proceso, con dos niveles cada uno y requieren de 2^k experimentos. Cada factor se estudió a dos niveles: nivel o valor alto (+) y nivel o valor bajo (-).

Los experimentos realizados incluyen todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores.

k = número de factores

número de columnas

(+) = nivel o valor alto

(-) = nivel o valor bajo

2^k = número de experimentos; número de filas

Se planteó un diseño factorial 2^k que corresponde a un modelo 2^2 con 3 repeticiones haciendo un total de 12 experimentos.

$$2^2 = 2 * 2 = 4$$

A continuación, se muestra la tabla II-3 de niveles y los factores seleccionados.

Tabla II-3: Niveles de Variación de los Factores

FACTORES K	NIVEL min.	NIVEL máx.
Glicerina	2.5	5
Pectina	1	1.5

Fuente: Elaboración propia, 2021

Para facilitar el tratamiento de datos, se codifica las variables en la Tabla II-4.

Tabla II-4: Codificación de Variables

FACTORES (k)	NIVEL (min)	NIVEL (máx.)
Glicerina	-1	+1
Pectina	-1	+1

Fuente: Elaboración propia, 2021

Todas estas combinaciones están contempladas en el diseño factorial completo 2^2 . En total 4 experimentos correspondientes a 2 niveles del factor A x 2 niveles del factor B. Además, se hizo tres réplicas para cada experimento, haciendo un total de 12 experimentos.

2.4.1. Construcción del diseño factorial

Los valores de los componentes presentados en la Tabla II-5 se definieron en función a trabajos previamente realizados por otros autores de acuerdo a una revisión de referencia bibliográfica se consideró seguir la metodología impartida por Charro (2015), con algunas adaptaciones, puesto que se trabajó con el diseño factorial 2^2 el cual estudia el efecto de dos factores/aditivos (glicerina y ácido acético) considerando dos niveles (nivel bajo (-) y nivel alto (+)) en cada uno.

Tabla II-5: Matriz de Formulación

Plan de experimentación										
N° Experimentos	Matriz de experimentos		Factor A	Factor B	Formulación			Replicas		
	A	B	Glicerina	Pectina	Almidón	Ácido acético	Agua Destilada	Replica 1	Replica 2	Replica 3
1	-	-	2.5	1	4.5	1.5	60	y1	y5	y9
2	+	-	5	1	4.4	3.5	58.1	y2	y6	y10
3	-	+	2.5	1.5	4.4	1.5	58.1	y3	y7	y11
4	+	+	5	1.5	4.2	3.5	63.3	y4	y8	y12

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla II-6: Matriz de experimentos

N°	Matriz de experimentos		Plan de experimentación		
	A	B	Glicerina (gr)	Pectina (gr)	Espesor
1	-1	-1	2,5	1	y ₁
2	+1	-1	5	1	y ₂
3	-1	+1	2,5	1,5	y ₃
4	+1	+1	5	1,5	y ₄
5	-1	-1	2,5	1	y ₅
6	+1	-1	5	1	y ₆
7	-1	+1	2,5	1,5	y ₇
8	+1	+1	5	1,5	y ₈
9	-1	-1	2,5	1	y ₉
10	+1	-1	5	1	y ₁₀
11	-1	+1	2,5	1,5	y ₁₁
12	+1	+1	5	1,5	y ₁₂

Fuente: Elaboración propia, 2022

El modelo de regresión

Para el experimento del proceso químico de 2², el modelo de regresión es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

Donde:

y: Modelo de regresión

X₁: Variable codificada que representa cantidad optima de glicerina.

X₂: Variable codificada que representa la pectina.

E: Error

Los coeficientes de regresión, nos lo brindara el análisis estadístico hecho en el programa de SPSS.

Para la estimación de efectos se puede aplicar la siguientes formulas:

Para el efecto A.

$$A = \frac{1}{4n} \{[a + ab] - [(1) + b]\}$$

Para el efecto B

$$B = \frac{1}{4n} \{[b + ab] - [(1) + a]\}$$

Para la interacción A*B

$$A*B = \frac{1}{4n} \{[(1) + ab] - [a + b]\}$$

Donde:

- N: número de réplicas
- (1): Resultado del primer tratamiento
- a: Resultado del segundo tratamiento
- b: Resultado del tercer tratamiento
- ab: Resultado del cuarto tratamiento

Estas fórmulas permiten saber si el efecto es significativo o es irrelevante.

Para la suma de cuadrados es muy importante, pues ayuda a estimar el análisis de varianza, se puede aplicar las siguientes fórmulas.

Suma de cuadrados para A

$$SS_A = \frac{\{[a + ab] - [(1) + b]\}^2}{4n}$$

Suma de cuadrados para B

$$SS_B = \frac{\{[b + ab] - [(1) + a]\}^2}{4n}$$

Suma de cuadrados para las intersecciones A*B

$$SS_{AB} = \frac{\{[(1) + ab] - [a + b]\}^2}{4n}$$

Donde:

SS: Suma de cuadrados

n: Número de réplicas

(1): Resultado del primer tratamiento

a: Resultado del segundo tratamiento

b: Resultado del tercer tratamiento

ab: Resultado del cuarto tratamiento

2.4.2. Parámetros a determinar en ensayos preliminares

Tabla II-7: Parámetros a determinar en el proceso experimental

PARÁMETROS	UNIDAD
Volumen de la solución para la elaboración del plástico biodegradable	Mililitros
Masa de almidón	Gramos
Volumen de ácido acético	Mililitros
pH de la mezcla	-
Temperatura de la mezcla	° C
Tiempo de la mezcla	Minutos
Temperatura de secado	° C
Tiempo de secado	Horas

Fuente: Elaboración propia, 2022

2.5. Equipos, materiales, reactivos e insumos empleados para el desarrollo del diseño experimental

El equipamiento, materiales y reactivos más relevantes que se utilizan en este proyecto son los siguientes:

2.5.1. Equipos de laboratorio

Los equipos empleados en la obtención del bioplástico Se muestran en la Tabla II-8.

Tabla II-8: Equipos empleados en el desarrollo experimental

Equipo	Descripción	Especificación	Cantidad
Estufa	Equipo que produce calor para calentar una o varias muestras, disminuyendo la humedad del mismo.	Número de modelo: 100 a. Potencia: 120 W Rango de temperaturas: 30-65 ° C. Voltaje: 120 V.	1
Agitador magnético	Equipo que permite mezclar un líquido en un recipiente mediante un campo magnético rotatorio que hace girar a una pastilla magnética.	Velocidad de agitación de 200 a 200 rpm.	1
Rota vapor	Separa 2 o más componentes de una mezcla líquida, aprovechando la diferencia de volatilidades.	Potencia de calefacción: 1300 W. Margen de temperatura: 20-180 ° C Velocidad: 20-270 rpm.	1
Secador infrarrojo	Mide la humedad que presenta una muestra.		1
Balanza analítica	Diseñada para medir cantidades de masa, reactivos e insumos.	Peso mínimo: 1 gramo Peso máximo: 10 000 gramos	1

Fuente: Elaboración propia, 2022

2.5.2. Materiales

Tabla II-9: Materiales de laboratorio

Material	Descripción	Especificación	Cantidad
Vaso precipitado	Recipiente de vidrio que se emplea para calentar, agitar soluciones.	Capacidad: 250 ml	2
Termómetro	Mide la cantidad de calor de una muestra.	Rango de temperaturas: 0-200 °C	1
Vidrio reloj	Recipiente de vidrio para depositar sólidos.	Diámetro: 10 cm Alto: 1 cm	1
Varilla de vidrio	Consiste en un fino cilindro macizo de vidrio que sirve para agitar disoluciones, con la finalidad de mezclar productos químicos y líquidos.	Longitud: 25 cm	1
Mortero y su maso	Recipiente para triturar muestras secas de poca dureza.	Capacidad: 500 g	1
pH metro	Mide el pH de la muestra	Rango de medición: 0-14 pH. Resolución: 0.1 pH. Precisión: 0.1 pH.	1
Probeta	Mide volúmenes.	Capacidad: 50 ml	1

Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6. Descripción del proceso de obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa a escala laboratorio

Para el proceso de obtención del bioplástico primeramente se procede a la extracción del almidón de cáscara de papa descrito en la Figura II-1.

2.6.1. Extracción del almidón de cáscara de papa.

Figura II-1: Diagrama de obtención del almidón de cáscara de papa.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Se describe a continuación el proceso por etapas:

2.6.1.1. Selección de la variedad de papa

En base a una revisión previa de fuentes bibliográficas relacionadas con el contenido de almidón presente en distintas variedades de papa, se eligió a la papa rosada por ser la que tiene un porcentaje superior de almidón.

En la tabla II-10 se muestra el porcentaje de almidón de algunas variedades de papa de nuestra región por lo que se elige a la papa de especie "Solanum tuberosum" de variedad canchan-rosada. Esto debido a que al porcentaje de almidón que posee.

Cabe resaltar que otro de los aspectos a tomar en cuenta para la elección de esta papa también fueron las características morfológicas (Tabla II-11) y el fácil acceso a la misma por el proveedor de la cáscara de papa ya que los residuos fueron adquiridos de la venta de papas fritas en el departamento de Tarija.

Tabla II-10: Porcentaje de almidón en ciertas variedades de papa en Bolivia.

Variedad de papa	Materia seca total %	Almidón (%)	Peso específico
Gendarme(chejchi)	23.8	17.34	1.099
Imilla blanca	24.3	17.71	1.101
Imilla negra	23.1	16.60	1.095
Canchan	20,2	17.48	1.102
Lunku ajauri	24.48	17.48	1.100
Waycha	24.2	17.71	1.101
Lajra	24.2	17.62	1.101

Fuente: (PROGRAMA DE INVESTIGACION DE LA PAPA, 1999)

Tabla II-11: Características morfológicas de la papa seleccionada.

Color de la flor	Lila con blanco
Forma de la flor	rotada
Habito de crecimiento	semirrecto
Color de tallo	verde
Forma de tubérculo	Redondo con ojos medianamente profundos
Color de la piel	Rosado con manchas dispersas.
Color de la pulpa	Amarillo intenso

Fuente: (Catalogo etnobotanico de papas nativas, 2022)

Figura II-2: Selección de Cáscara de papa



Fuente: Elaboración propia

2.6.1.2. Clasificación de la cáscara de papa y lavado.

Los criterios de inclusión para la selección de las cascara de papa son aquellas con buena apariencia física y homogéneas. Luego se quita la tierra de las cáscaras de papa con la ayuda de un estropajo y agua.

Figura II-3: Clasificación de la cascara de papa



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.3. Secado y pesado

Posteriormente se deja secar las cáscaras de papa a temperatura ambiente para luego ser pesadas hasta obtener 7 kilogramos.

Figura II-4: Secado de la cáscara de papa



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.4. Triturado

Se trituran las cáscaras de papa junto con el agua con la ayuda de una licuadora y se filtran a través de un cernidor plástico.

Figura II-5: Triturado de la cáscara de papa



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura II-6: Filtración de la lechada



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.5. Lavado y filtrado

El sobrante de la muestra triturada se coloca en el colador filtrante, y se realiza varios lavados con agua hasta observar que el agua de lavado sea transparente.

Figura II-7: Lavado



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura II-8: Filtrado

Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.6. Decantado

La decantación se utiliza para separar dos o más líquidos o un sólido que no se disuelve entre sí por lo que se realiza la separación del almidón evitando que queden las fibras del zumo u otros residuos. Es necesario dejarla reposar para que el sólido se sedimente, posteriormente se recoge el agua de lavado y se ubica en un recipiente con tapa hermética y se deja decantar por 12 horas, para luego eliminar el agua sobrenadante.

Figura II-9: Decantación



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura II-10: Almidón sedimentado



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.7. Secado

Es la etapa en donde se busca reducir el contenido de humedad del almidón para lo cual se procede a recoger el sedimentado (almidón) con cuidado en bandejas de vidrio y se deja secar en la estufa a 50 °C por un tiempo de 14 horas.

Concluido el tiempo se lo retira se almacena a temperatura ambiente.

Figura II-11: Secado del almidón



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.8. Molienda

Una vez secado el almidón se procede a molerlo en un mortero para luego tamizarlo.

Figura II-12: Molienda



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura II-13: Tamizado del almidón



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.1.9. Almacenamiento

Finalmente se empaca el almidón obtenido y se deposita en un lugar fresco.

Figura II-14: Almacenamiento del almidón

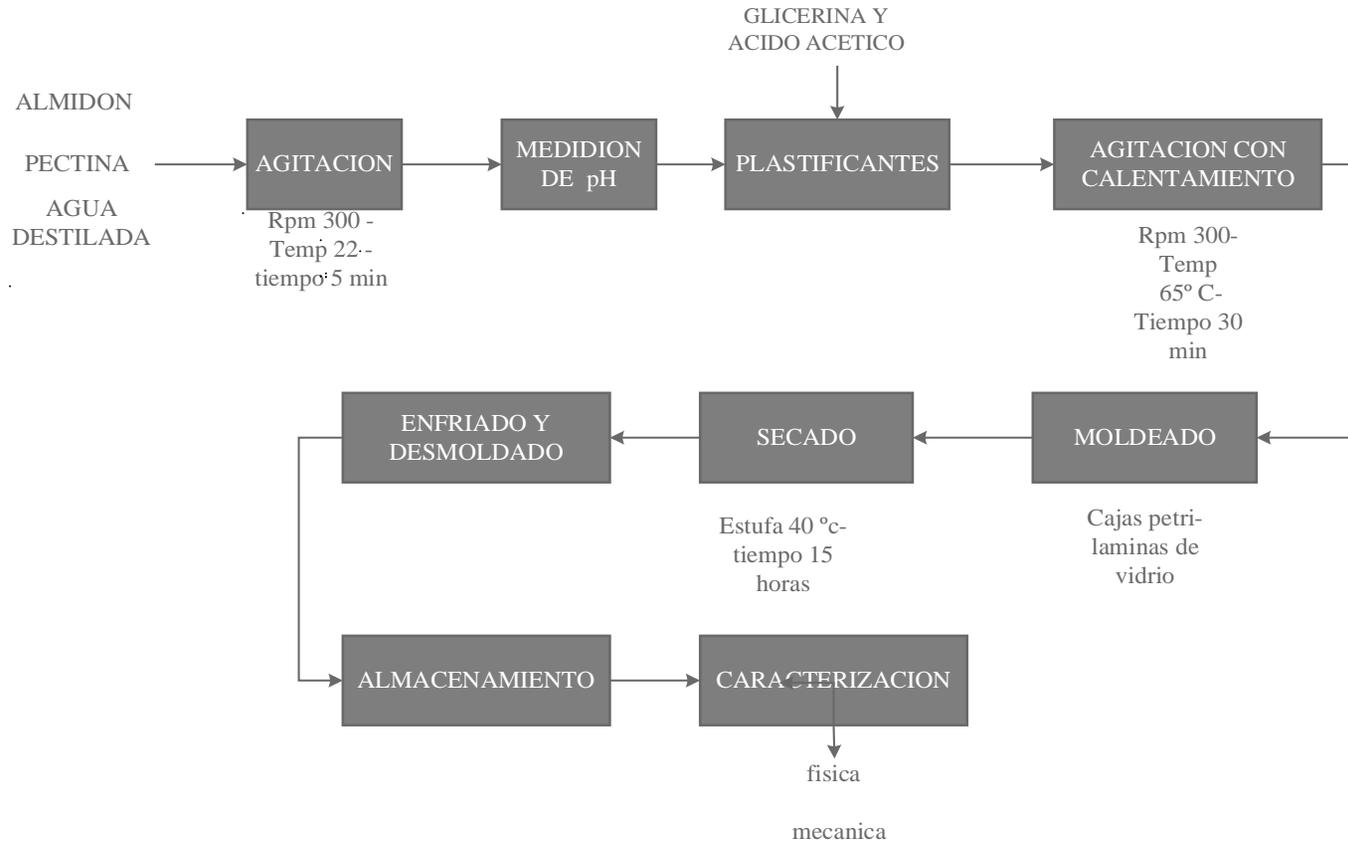


Fuente: Elaboración propia, 2022

2.7.6. Proceso de obtención del plástico biodegradable

Obtenido el almidón de cáscara de papa se procede a la elaboración del bioplástico descrito en la Figura II-15.

Figura II-15: Diagrama de flujo del proceso de obtención de plástico biodegradable



Fuente: Elaboración propia, 2022

La descripción del proceso por etapas, es descrita a continuación:

2.6.2.1. Agitación previa

Se procede pesando 3.9 g del almidón obtenido y 1.5 g de pectina en un vaso de precipitado de 250 ml. Adicionando 59.8 g de agua destilada caliente, posteriormente se lleva a un proceso de agitación por un periodo de 5 a 10 min. Esto con la finalidad de que se disuelva la pectina.

Figura II-16: Mezcla de insumos



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.2.2. Medición del pH y Temperatura

Se procede a realizar la medición del pH de la mezcla dando un valor de 5 y un control temperatura igual a 65° C con el objetivo de no generar alteraciones en la mezcla por una elevada temperatura o medios ácidos que generan aglomeraciones en la mezcla.

Figura II-17: Medición de pH y temperatura



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.2.3. Adición de agentes plastificantes.

Se procede a la adición de los agentes plastificantes según el porcentaje requerido (ácido acético, glicerina) para su posterior agitación con calentamiento a 65 ° C y 300 rpm durante 15 min.

Tabla II-12: Porcentaje de agentes plastificantes

Agentes plastificantes	% p/p
Glicerina	2.5
Acido acético	1.3
Agua destilada	59.8

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Posteriormente se somete a baño maría durante 15 min sin dejar de mezclar con una varilla de vidrio.

Figura II-18: Agitación de la mezcla

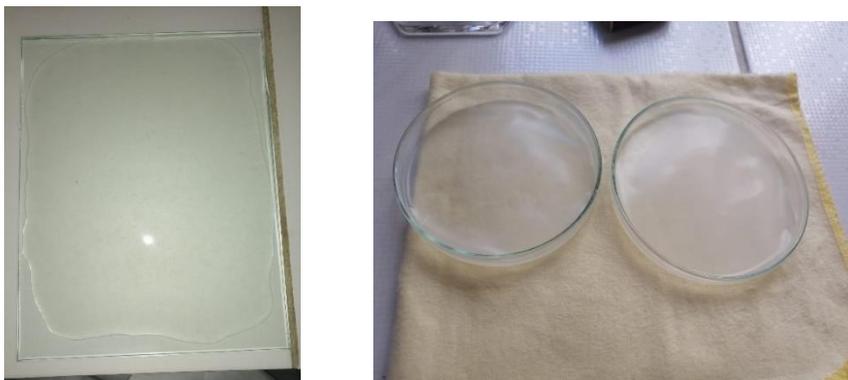


Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.2.4. Moldeado

Obtenida la mezcla se vierte en placas de vidrio o cajas Petri, tomando en cuenta que el nivel quede uniforme al momento de extenderlo para así obtener una buena lámina.

Figura II-19: Moldeado de la mezcla



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.6.2.5. Secado

Finalmente, se deja secar en estufa a 40° C por un periodo de 15 horas, se lo retira y se deja enfriar hasta que la película se pueda desmoldar con facilidad.

Figura II-20: Secado de la lámina de bioplástico



Fuente: Elaboración propia, 2022

2.6.2.6. Enfriado y desmoldado

Una vez enfriada la muestra se procede a desmoldar la lámina de bioplástico y almacenarla para su posterior caracterización.

Figura II-21: Desmoldado del bioplástico



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura II-22: Experimentos Realizados



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.7. Balance de materia

Se realizó un balance de materia para determinar los flujos de masa y las pérdidas que existen en el proceso. El balance de materia se elaboró en base a los datos obtenidos experimentalmente, el cual se realizó la obtención de plástico biodegradable a partir de 3.9 g de almidón extraído de cáscara de papa.

En la Tabla II-13, se presentan los datos y variables conocidas en el proceso según el balance global.

Tabla II-13: Flujos del balance de materia

Nombre	Flujo másico	Unidad	Cantidad
Peso del almidón	A	g	3.9
Peso de la pectina	B	g	1.5
Agua destilada	C	g	59.8
Pre-mezcla	D	g	-
Peso glicerina	E	g	2.5
Peso ácido acético	F	g	1.3
Mezcla inicial	G	g	-
Masa agua evaporada	H	g	-
Mezcla total 1	I	g	66.34
Perdidas	J	g	-
Mezcla total 2	K	g	63.02
Agua que se evapora	L	g	-
Peso plástico biodegradable	M	g	8.69
Perdidas	N	g	-
Plástico biodegradable	O	g	8.17

Fuente: Elaboración propia, 2022

2.7.1 Etapa de agitación



Donde:

A (Peso almidón) = 3.9 g

B (Peso pectina) = 1.5 g

C (Agua destilada) = 59.8 g

D (masa pre mezcla) =

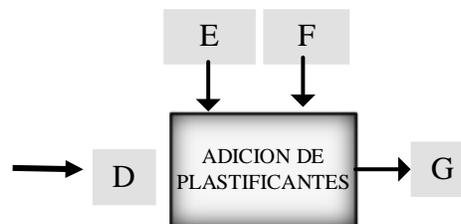
Balance global:

$$D = A + B + C \quad \text{Ec. (II-1)}$$

$$D = (3.9 + 1.5 + 59.8) \text{ g}$$

$$D = 62.5 \text{ g}$$

2.7.2. Etapa de adición de plastificantes



Donde:

D (Masa pre mezcla) = 62.5 g

E (masa glicerina) = 2.5 g

F (masa ácido acético) = 1.3 g

G (masa mezcla inicial) =

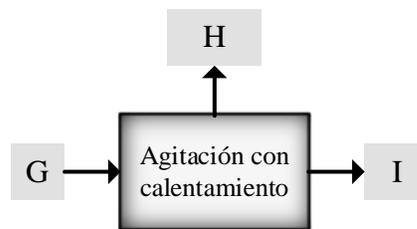
Balance global:

$$G = D + E + F \quad \text{Ec. (II-2)}$$

$$G = (65.2 + 2.5 + 1.3)$$

$$G = 69 \text{ g}$$

2.7.3 Etapa de agitación con calentamiento



Donde:

$$G \text{ (Masa mezcla total)} = 69 \text{ g}$$

$$H \text{ (masa agua evaporada)} =$$

$$I \text{ (masa mezcla 1)} = 66.34 \text{ g}$$

Balance global:

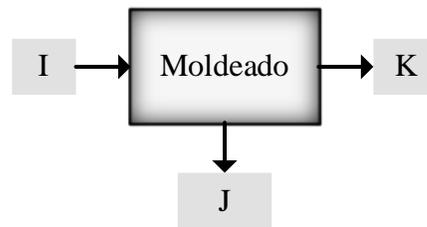
$$G = H + I \quad \text{Ec. (II-3)}$$

$$H = G - I \quad \text{Ec. (II-4)}$$

$$H = (69 - 66.34) \text{ g}$$

$$H = 2.66 \text{ g}$$

2.7.4. Etapa de moldeado



Donde:

I (Masa mezcla 1) = 66.34 g

J (masa Perdidas) =

K (masa mezcla 2) = 63.02 g

Balance global:

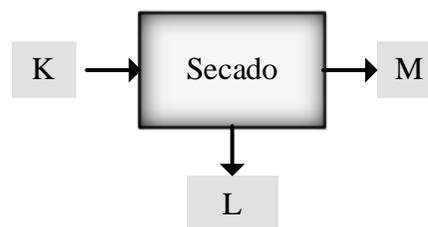
$$I = J + K \quad \text{Ec. (II-5)}$$

$$J = I - K \quad \text{Ec. (II-6)}$$

$$J = (66.34 - 63.02) \text{ g}$$

$$J = 3.32 \text{ g}$$

2.7.5. Etapa de secado



Donde:

K (Masa mezcla 2) = 63.02 g

L (masa agua evaporada) =

M (masa bioplástico) = 8.69 g

Balance global:

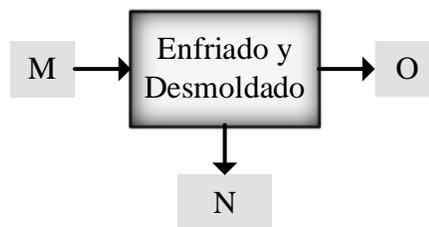
$$K = L + M \quad \text{Ec. (II-7)}$$

$$L = K - M \quad \text{Ec. (II-8)}$$

$$L = (63.02 - 8.69) \text{ g}$$

$$L = 54.33 \text{ g}$$

2.7.6. Etapa de enfriado y desmoldado



Donde:

$$M \text{ (Masa bioplástico)} = 8.69 \text{ g}$$

$$N \text{ (masas perdidas)} =$$

$$O \text{ (bioplástico obtenido)} = 8.17 \text{ g}$$

Balance global:

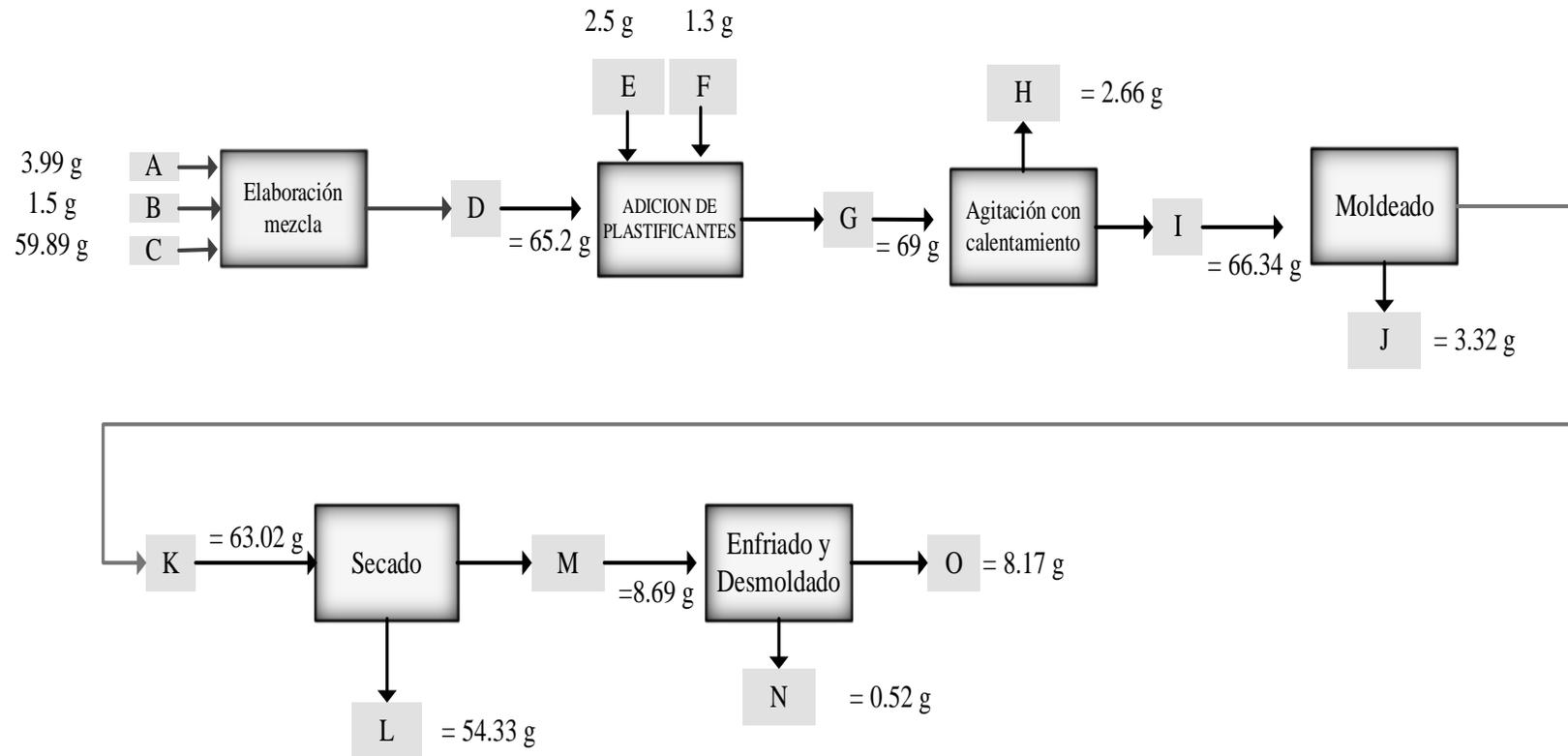
$$M = N + O \quad \text{Ec. (II-9)}$$

$$N = M - O \quad \text{Ec. (II-10)}$$

$$N = (8.69 - 8.17) \text{ g}$$

$$N = 0.52 \text{ g}$$

Figura II-23: Resumen balance de materia – Obtención de plástico biodegradable



Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla II-14: Porcentaje de perdidas por etapas.

N°	Etapas	Perdidas (%)
1	Elaboración mezcla	0
2	Adición de plastificantes	0
3	Agitación con calentamiento	2,66
4	Moldeado	3,32
5	Secado	0
6	Enfriado y Desmoldado	0.52

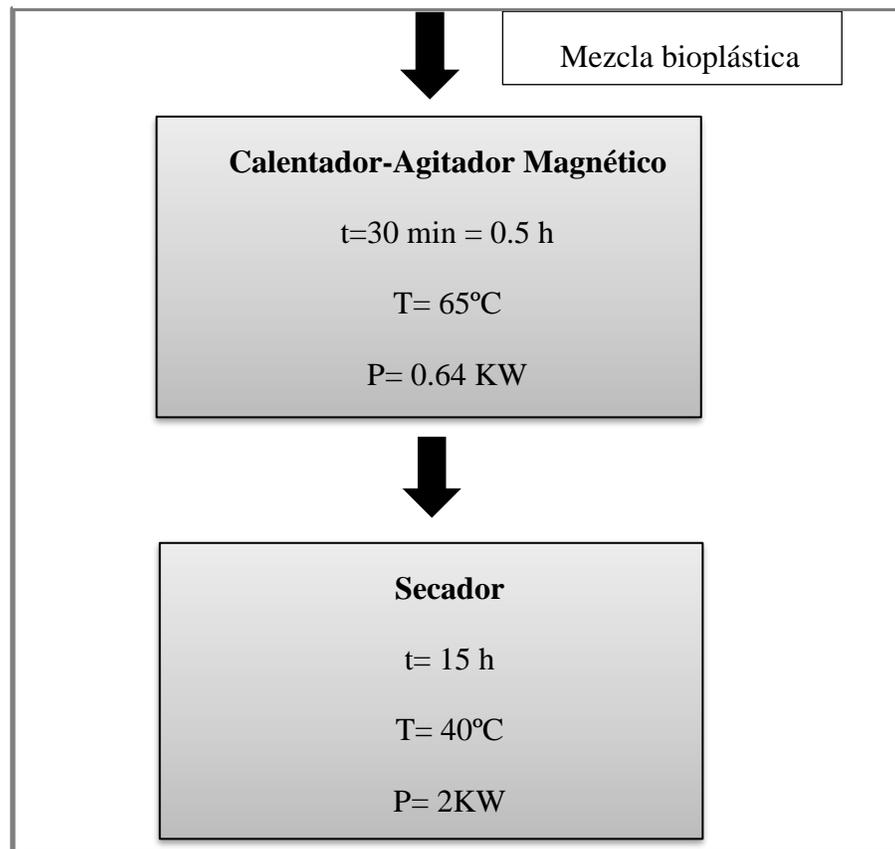
Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla II-14 indica las perdidas obtenidas durante el desarrollo experimental y se realizó en base al resumen de balance de materia de la Figura II-31.

2.8. Balance de Energía.

En el proceso de obtención del plástico biodegradable se realizó un balance de energía se tomando en cuenta los equipos donde existe una transferencia de calor en este caso para la mezcla con calentamiento en el agitador magnético y para la etapa de secado en la estufa CONTERM. La Figura II-24, muestra un resumen de los datos con los que se trabajó en el balance.

Figura II-24: Diagrama balance de Energía.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.8.1. Agitador magnético.

Esta etapa se realizó entre una temperatura de 65 °C por un lapso de 30 min con un peso de 69 g de mezcla.

Donde:

Tiempo= $t = 0.5 \text{ h} = 30 \text{ min}$

Potencia del calentador – agitador magnético = $P_{\text{Calentador}} = 0.64 \text{ kW}$

Temperatura del calentador – agitador magnético = $65 \text{ }^\circ\text{C}$

Energía del calentador – agitador magnético= $E_{\text{Calentador}}$

$$E_{\text{Calentador}} = P_{\text{Calentador}} * t \quad \text{Ec. (II-11)}$$

$$E_{\text{Calentador}} = 0.64 \text{ kW} * 0.5 \text{ h}$$

$$E_{\text{Calentador}} = 0.32 \text{ kW} - \text{h}$$

La energía consumida en kj es de:

$$E_{\text{Calentador}} = 0.32 \text{ kW} - \text{h} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kW} - \text{h}}$$

$$E_{\text{Calentador}} = 1152 \text{ kJ}$$

2.8.2. Etapa de secado en estufa.

En esta etapa se realizó el secado de la mezcla para la obtención del plástico biodegradable a una temperatura de $40 \pm 4^\circ\text{C}$ por un lapso de 15 h.

Tiempo = $t = 15 \text{ h}$

Potencia del secador de bandeja= $P_{\text{Secador}} = 2 \text{ Kw}$

Energía del secador de bandeja = E_{Secador}

$$E_{\text{Secador}} = P_{\text{Secador}} * t \quad \text{Ec. (II-12)}$$

$$E_{\text{Secador}} = 2 \text{ kW} * 15 \text{ h}$$

$$E_{\text{Secador}} = 30 \text{ kW} - \text{h}$$

La energía consumida en la etapa de secado en kj es de:

$$E_{\text{Secador}} = 30 \text{ kW} - \text{h} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kW} - \text{h}}$$

$$E_{\text{Secador}} = 108000 \text{ kJ}$$

2.9. Especificaciones técnicas para la elaboración del bioplástico

Para obtener el bioplástico se sigue el proceso descrito en la Figura II-28, donde se muestran las etapas para la obtención del bioplástico, se presentan las entradas y las salidas del proceso, con esto se definen los equipos que se necesitan para el proceso llevar a cabo el proceso a escala piloto.

Los equipos que se necesitan para este proceso son tanques de mezclado para las mezclas sólido-líquido o líquido-líquido, un reactor y un extrusor o secador de bandejas.

El reactor más adecuado para este proceso es un reactor batch ya que este reactor puede contener grandes volúmenes, tiempos de residencia prolongados además de que el sistema se puede mantener en estado estacionario con las condiciones de temperatura, nivel del tanque y presión constantes.

Los tanques de mezclado aseguran homogeneidad a los reactivos antes de verterlos en el reactor, son usados generalmente para mezclas líquidas o sólidas líquidas, estos tanques de mezclado solo tienen un control de nivel, ya que no se llevarán a cabo reacciones químicas, ni térmicas.

Por último, se usará un extrusor o un secador de bandejas el cual le dará la forma final al bioplástico, esta operación mecánica se ejerce una presión o un empuje el cual lo hace pasar por un molde para lograr el producto final deseado.

2.9.1. Tanques de mezcla

Mezclar es una distribución al azar, de dos fases inicialmente separadas lo cual implica que se parte de dos fases para lograr un solo producto, los objetivos de mezclar sustancias son los siguientes:

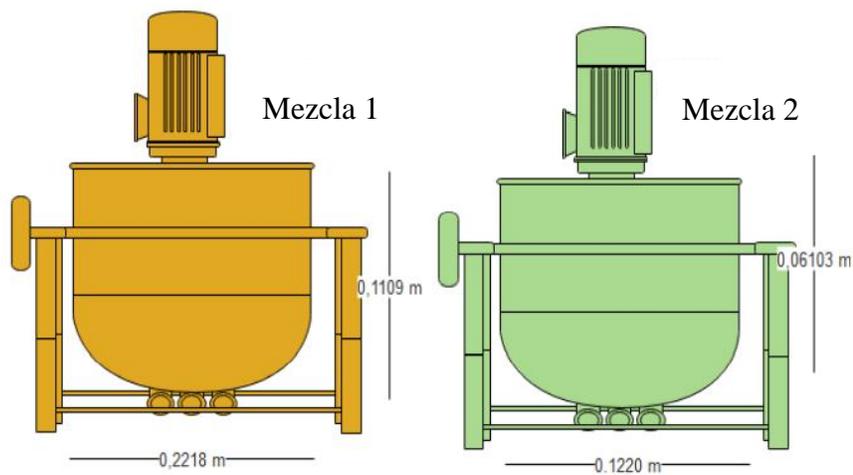
- Mezcla de dos líquidos miscibles.
- Disolución de sólidos en líquidos.
- Dispersión de partículas finas en un líquido.
- Dispersión de dos fases no miscibles.

Durante el proceso experimental se evidenció que se necesitan realizar dos premezclas previas al iniciar el proceso de obtención del bioplástico las cuales son el almidón, pectina con agua destilada y la glicerina, ácido acético con la mezcla de almidón (pectina y agua destilada), estos mezcladores se agitan con agitadores de paletas plana, los cuales giran sobre un eje vertical. Estas paletas tienen un giro a velocidades moderadas en el centro del tanque, impulsando el líquido de forma radial, evitando el movimiento vertical a menos que las paletas tenga algún tipo de inclinación.

Para las dimensiones del tanque de agitación se obtiene por medio del volumen nominal el cual lo da las sustancias que se quieran mezclar.

Según la norma API 650 el factor de llenado es del 75%, para evitar derrames durante la mezcla.

Figura II-25: Tanques de mezclado



Fuente: (Cardona, 2019)

2.9.2. Reactor batch

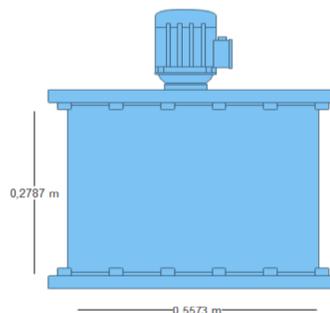
La reacción de polimerización o de cocción del almidón, es un proceso que depende de los elementos de agregación que posee el gránulo de almidón de establecer enlaces con los hidrógenos libres posterior a su modificación química, estos enlaces se establecen con materiales como etanol, glicerina, agua y alcohol isopropílico. La interacción de este tipo de elementos químicos con el almidón es de tipo polar al reaccionar con algunas sales de forma más veloz

Para calcular el volumen del reactor, se escogió un reactor discontinuo ya que este tipo de tanques cuentan con muchas facilidades de carga y descarga, además cuentan con relativas facilidades para conexiones como para la transferencia de calor con elementos como intercambiadores, serpentines, baffles, recirculación interna y externa, entre otros), que además en condiciones ideales la mezcla es totalmente homogénea.

Para el diseño de este reactor discontinuo se debe tener en cuenta que las reacciones de polimerización tienen como objetivo no producir en términos de tamaño molecular o conversión molar, sino en términos de dispersión de partículas la cual puede variar según el tipo de polimerización y el diseño del proceso.

En la Figura II-26 se observa el reactor a ser empleado.

Figura II-26: Reactor batch



Fuente: Cardona,2019

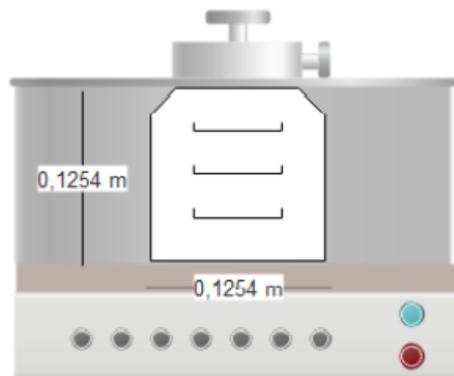
2.9.3. Secador de bandejas

La operación de secado es una operación unitaria de transferencia de masa entre sólido-gas, donde el líquido contenido en el sólido se evapora con base en la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa cuando estas dos presiones se igualan. El objetivo final de un proceso de secado es la remoción de agua de un sólido hasta un nivel en donde el crecimiento microbiológico (la actividad microbiológica se detiene a niveles de humedad inferiores al 10% 87) y la deterioración por reacciones químicas sean mínimas.

En la actualidad existen dos tipos de secadores los directos y los indirectos; Los secadores directos se logra a través de un contacto directo entre los sólidos húmedos y los calientes, el líquido vaporizado se arrastra con el medio de desecación, es decir con los gases calientes; Los secadores indirectos el calor se transfiere al sólido húmedo a través de una pared que retiene el calor y la velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material mojado y la superficie caliente.

En la Figura II-27 se observa el secador de bandejas a ser empleado.

Figura II-27: Secador de bandejas

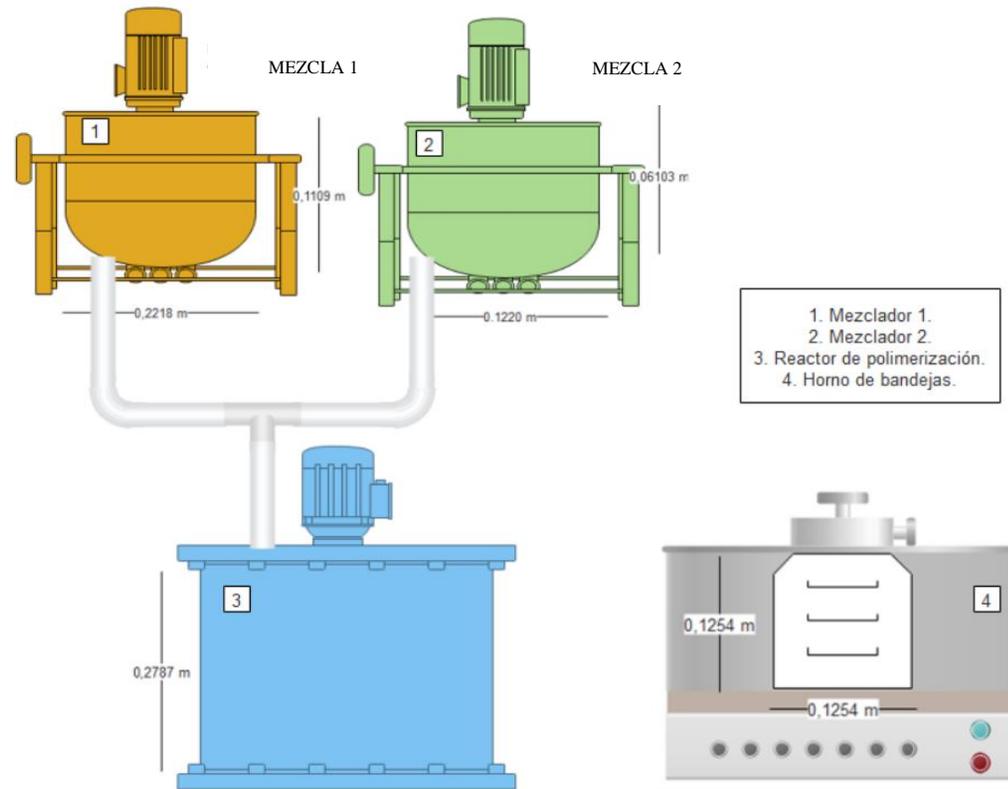


Fuente: (Cardona, 2019)

A nivel experimental se usó una estufa para secar la película del bioplástico, sin embargo, se tendría que analizar si es posible usar la misma estufa ya que a nivel experimental las que mejor resultado dieron fueron en dicha estufa, teniendo ya los equipos necesarios para desarrollar el proceso el diagrama de flujo con equipos quedaría como se muestra en la Figura III-28.

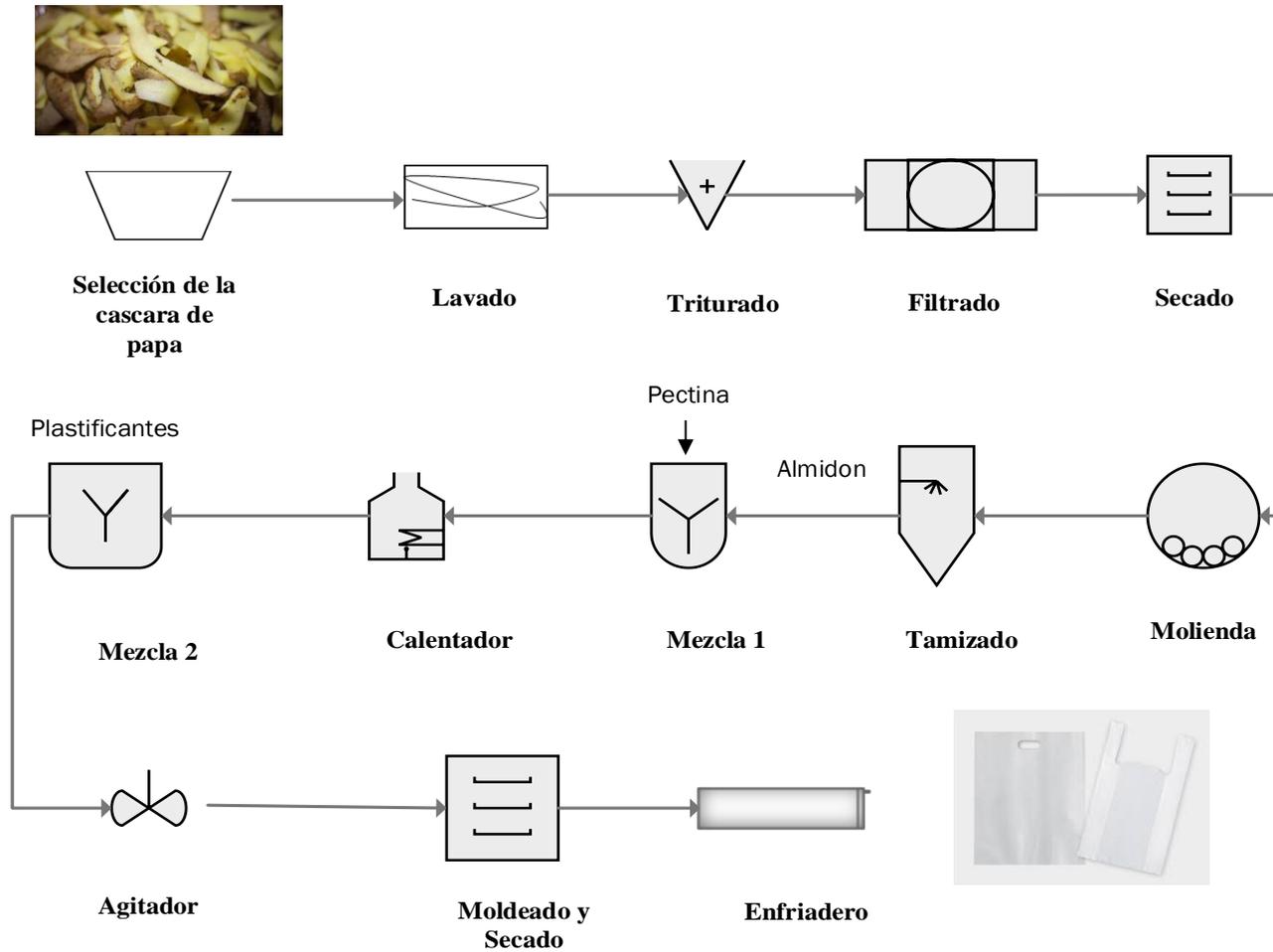
La Figura II-29 muestra el diagrama de flujo instrumentalizado a escala industrial.

Figura II-28: Diagrama de flujo con equipos del proceso de obtención del bioplástico.



Fuente: (Cardona, 2019)

Figura II-29: Diagrama de flujo instrumentalizado a escala industrial



CAPITULO III
RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización de la materia prima.

3.1.1. Almidón de cáscara de papa

La caracterización de la materia prima en este caso el almidón de cascara de papa se llevó a cabo bajo condiciones aptas de análisis se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la UAJMS y en Servicios Generales de Laboratorio (SGLAB) La paz.

Tabla III-1: Caracterización del almidón

Parámetro	Unidad	Resultado
Humedad	%	24.09
Amilosa	%	18.49
Amilopectina	%	81.51

Fuente: CEANID- SGLAB, 2022

3.2. Caracterización del bioplástico

Para la obtención del bioplástico se realizaron 4 ensayos con 3 repeticiones por ensayo variando las cantidades de plastificante, almidón y pectina, cuyo propósito fue encontrar las condiciones óptimas y las dosis adecuadas que permitan obtener una película biodegradable con mejores características para su posterior evaluación y análisis para lo cual se realizó un total de 12 experimentos.

Tabla III-2: Ensayos preliminares

EXP.	TIEMPO	TEMPERATURA (°C)	SUSTANCIAS	CANTIDAD	FORMACIÓN DE BIOPLÁSTICO	ESTABILIDAD	TRANSPARENCIA	FACILIDAD DE MOLDEO	OBSERVACIONES
Exp-1	30	65	Almidón	4 g	SI	NO	SI	NO	Forma película pegajosa con transparencia, Se fragmenta
			Glicerina	2 gr					
			Ácido acético	1.5 gr					
			Pectina	1 gr					
			Agua Destilada	60 gr					
Exp-2	30	65	Almidón	3.78 gr	SI	No	SI	SI	Forma película transparente, mala resistencia
			Glicerina	5g					
			Ácido acético	1.26 gr					
			Pectina	1 gr					
			Agua Destilada	57.96 gr					
Exp-3	30	65	Almidón	3.9 gr	SI	SI	SI	SI	Forma película con transparencia y buena resistencia
			Glicerina	2 gr					
			Ácido acético	1.3 gr					
			Pectina	1.5 gr					
			Agua Destilada	59.8 gr					
Exp-4	30	65	Almidón	3.75 gr	SI	SI	NO	SI	Presenta una ligera coloración amarilla con resistencia.
			Ácido acético	1.25 gr					
			Glicerina	5gr					
			Pectina	1.5 gr					
			Agua Destilada	57.5 gr					

Fuente: Elaboración propia, 2022

Después de los ensayos preliminares se procede a un análisis sensorial para determinar la combinación óptima de la película biodegradable.

3.2.1. Análisis Sensorial

Este análisis permite estimar la formulación que presente las mejores características con respecto a parámetros organolépticos que serán evaluados en el material de estudio. De modo que se busca seleccionar un bioplástico que sea catalogado como aceptable y con características similares al plástico tradicional. Razón por la cual se consideró medir los atributos organolépticos más importantes como el aspecto, la textura, la flexibilidad y la resistencia en base a las observaciones de los ensayos preliminares. (Tubón, 2013)

3.2.1.1. Escala de calificación de los atributos organolépticos

Se valora a continuación los atributos de las láminas de bioplástico mediante una tabla de valoración porcentual dando un total del 100 %, según la apreciación del tacto y la vista ante los parámetros organolépticos. Esto se realiza con el objetivo de obtener una gráfica (representativa) que refleje la importancia de cada atributo.

Tabla III-3: Escala de calificación

Atributo	Valor Porcentual %
Aspecto	20
Textura	20
Flexibilidad	25
Resistencia	35
TOTAL	100

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-4: Evaluación de las formulaciones

Formulación	Parámetros			
	Aspecto	Textura	Flexibilidad	Resistencia
1	Traslucido	Lisa	Poco Flexible	Débil
2	Traslucido	Lisa	Flexible	Débil
3	Opaco	Lisa	Flexible	Fuerte
4	Opaco	Áspera	Flexible	Fuerte

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-5: Puntuación de los atributos organolépticos

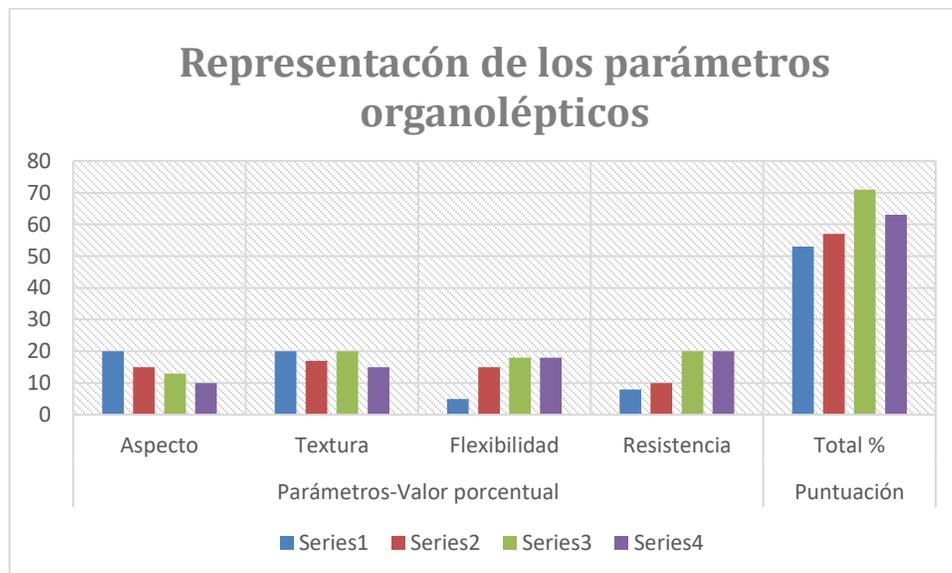
Formulación	Parámetros -Valor porcentual				Puntuación
	Aspecto	Textura	Flexibilidad	Resistencia	Total %
1	20	20	5	8	53
2	15	17	15	10	57
3	13	20	18	20	71
4	10	20	18	20	68

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-6: Resultados de los parámetros evaluados

Formulación	Parámetro	Unidad	Resultado Final
Ensayo-1	Aspecto	%	53
Ensayo-2	Textura	%	57
Ensayo-3	Flexibilidad	%	71
Ensayo-4	Resistencia	%	68

Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-1: Representación gráfica del análisis sensorial

Fuente: Elaboración propia, 2022

Se tiene que las formulaciones uno y dos presentaron características de aspecto y textura sobresaliente, pero los ensayos 3 y 4 presentaron una buena resistencia y flexibilidad siendo estos los más importantes a tomar en cuenta para la aplicabilidad que se les dará a las láminas de bioplásticos (bolsas). Por lo cual de ellas se eligió el ensayo 3 y 4 conociendo la formulación óptima para la formación de plástico biodegradable.

3.2.2. Humedad

Se utilizó el protocolo desarrollado por Hernández (2018), Para ello, se determina gravimétricamente la humedad pesando las películas de plástico biodegradable a temperatura ambiente, seguidamente se llevan a la estufa a una temperatura de 105°C durante 2 horas.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso final}} * 100$$

En las tablas siguientes se presentan los resultados del % de humedad de las mejores formulaciones seleccionando los ensayos 3 y 4 respectivamente, los datos obtenidos fueron a partir de láminas de bioplástico de 2.5 x 2.5 cm.

Tabla III-7: Resultados de humedad de acuerdo a las mejores formulaciones

Bioplástico	Réplicas	Humedad (%)	Humedad Promedio	Límites de referencia
EXP. 3	7	19.24	16.61%	19,3-22,1% (Escobar et al. 2009)
	8	18,75		
	9	20.,85		
EXP. 4	10	22.47	20.89%	25,95- 42,71% (Wang et al. 2013)
	11	18.40		
	12	21.81		

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.2.3. Determinación de pH

Se realizó la medición del pH, diluyendo 2 gr de la lámina con 18 ml de agua destilada, a esta solución se le introdujo el pH y se esperó hasta que este se estabilizará, para anotar la lectura final de este, se repitió lo mismo para cada muestra. Esto de acuerdo a la norma ASTM D1293-18.

Tabla III-8: Determinación de pH

Tratamientos	pH 1	pH 2	pH 3	pH promedio
Experimento 3	7,90	7,89	7,89	7,89
Experimento 4	7,83	7,27	8,02	7,71

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Espesor

Este análisis se basó en la norma técnica ecuatoriana INEN 2542 y la norma española UNE-ISO 4593. El procedimiento para la determinación del espesor por medición directa con micrómetro es el siguiente:

Se midió con un micrómetro digital, entre 0 y 25mm con una exactitud de 0.001mm. El proceso inició con la recepción de las láminas de bioplástico acondicionadas para este ensayo, se realizaron 5 mediciones en puntos uniformemente espaciados a lo largo de la lámina seleccionada. Finalmente, el resultado del ensayo se expresó como el promedio de las mediciones.

Figura III-2: Ensayo espesor



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla III-9: Resultados espesor

Experimentos	% Promedio Espesor	Limite de referencia
1	0,21	0.010-0,2mm (INEN 2542)
2	0,28	
3	0,34	
4	0,31	
5	0,21	
6	0,32	
7	0,35	
8	0,36	
9	0,22	
10	0,28	
11	0,2	
12	0,37	

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.2.5. Resistencia a la tracción.

Para este ensayo se tomaron en cuenta los mejores experimentos de acuerdo al análisis sensorial realizado. Se utilizó el protocolo establecido por la norma INEN 2637, con algunas modificaciones. El procedimiento es el siguiente:

Se trabajó con tres muestras para cada probeta de bioplástico, acondicionadas y con las siguientes dimensiones: ancho de 13 a 25.80 mm y longitud de 152 mm.

Con la ayuda de un dinamómetro, se colocó la probeta en las mordazas hasta alinear el eje longitudinal de la probeta. Finalmente se apretó las mordazas uniforme y firmemente para minimizar el deslizamiento de la probeta durante el ensayo. El esfuerzo máximo se determinó mediante la siguiente ecuación de Tubón (2013)

$$\sigma = \frac{f}{a}$$

Donde:

σ = esfuerzo máximo (kg/cm²) o (MPa) f: fuerza (kg)

a: área (cm²)

Tabla III-10: Resultados ensayo de resistencia

Bioplásticos	Probetas	Elongación Máxima (%)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Límites de referencia
3	7	16.2 5	10.2 4	2,66-12,36 MPa; 16,41-65,64 % (Arroyo y Alarcón, 2014)
	8	12.1 4	18.1 2	
	9	31.2 3	12.1 4	
Promedio		19.8 7	713. 5	13,4 MPa; 5,4 % (Enríquez et al. 2012)
4	10	28.2 1	6.95	
	11	21.2 2	5.42	
	12	22,1 7	6.12	
Promedio		23.8 6	6,16	

Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-3: Ensayo resistencia



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.2.6. Biodegradabilidad

El proceso de biodegradación de las láminas de bioplástico se centró en la determinación de los criterios de pérdida de masa y de la apariencia que adquirieron las muestras ensayadas (López et al. 2010).

Teniendo siempre presente lo dictado por la Norma EN 13432 sobre los criterios de biodegradabilidad y compostabilidad de un envase plástico.

3.2.6.1. Degradación en tierra

El procedimiento es el siguiente:

Las muestras de láminas de bioplástico fueron cortadas en cuadrados de 3x3cm y enterradas en recipientes a una cierta profundidad desde la superficie, con el fin de asegurar las condiciones de degradación a temperatura ambiente y por un tiempo de exposición de 35 días durante el mes de mayo en el Laboratorio de operaciones unitarias (LOU)

Se utilizó microflora presente en la tierra agrícola procedente de terrenos Monte Cercado, la cual presentaba las siguientes características: pH de 6.22 y un color oscuro que de acuerdo con Zapata (2015), este tipo de suelos poseen un alto contenido de materia orgánica lo cual lo hace idóneo para este ensayo.

Se evaluó la pérdida de peso cada 7 días y el porcentaje de pérdida de peso se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i = peso inicial de la lámina de bioplástico.

P_f = peso final de la lámina de bioplástico.

3.2.6.2. Degradabilidad en agua

El procedimiento para la simulación es el siguiente:

Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes apropiados, llenar los recipientes con agua hasta superar la superficie de las muestras. Tapar los recipientes y dejar en reposo absoluto (sin moverse) por 35 días, después de transcurrido este tiempo pesar las muestras con una balanza analítica y obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ degradabilidad} = 100 - [(\text{peso final}/\text{peso inicial}) * 100]$$

Figura III-4: Muestras Iniciales sometidas a degradación.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

La Figura III-4 muestra las láminas de bioplástico iniciales sometidas al proceso de biodegradación y la Figura III-6 y la Figura III-9, muestra la degradación final durante un periodo de 35 días de las películas de bioplástico obtenidas.

3.2.6.3. Datos para el ensayo de biodegradabilidad

En las Tablas III-11 y III-12 se puede apreciar los pesos iniciales de las películas húmedas y los pesos finales de las películas secas.

Tabla III-11: Datos biodegradación en tierra

Experimento	Peso inicial Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Peso final Día 35	Pi-Pf	Biodegradabilidad %	Promedio%
1	0,219	0,212	0,205	0,193	0,187	0,181	0,038	17,35	28,86
2	0,163	0,148	0,141	0,135	0,118	0,112	0,051	31,29	
3	0,174	0,157	0,144	0,135	0,115	0,108	0,066	37,93	
4	0,183	0,135	0,126	0,115	0,108	0,095	0,088	48,09	36,93
5	0,197	0,171	0,167	0,163	0,154	0,145	0,052	26,40	
6	0,212	0,166	0,158	0,152	0,148	0,135	0,077	36,32	
7	0,247	0,208	0,183	0,173	0,169	0,145	0,102	41,30	29,50
8	0,171	0,152	0,143	0,136	0,133	0,129	0,042	24,56	
9	0,212	0,205	0,187	0,179	0,171	0,164	0,048	22,64	
10	0,132	0,104	0,092	0,085	0,054	0,043	0,089	67,42	49,84
11	0,274	0,255	0,244	0,135	0,127	0,118	0,156	56,93	
12	0,163	0,157	0,149	0,138	0,126	0,122	0,041	25,15	

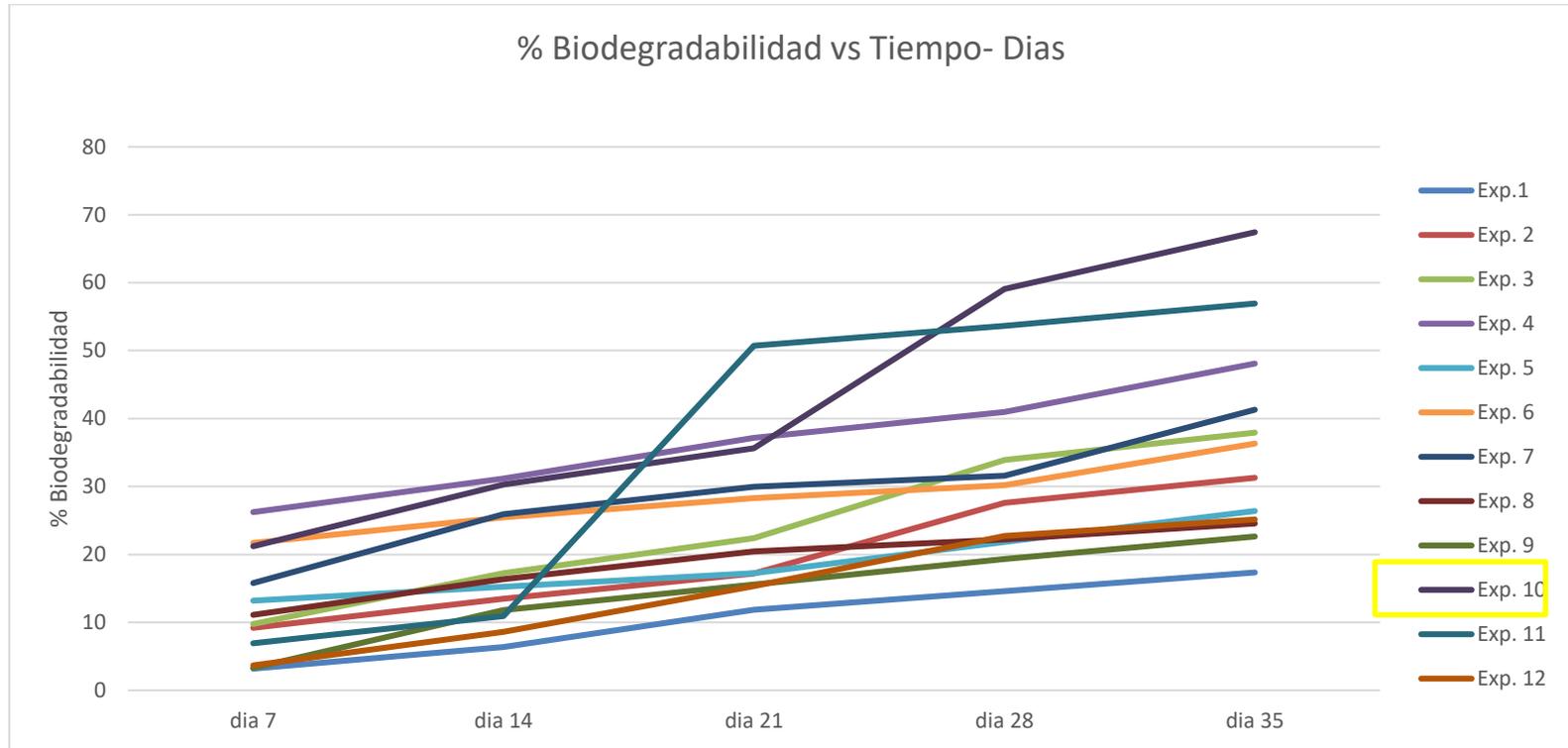
Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-12: Datos porcentaje día de biodegradación

Peso inicial Dia 0	Dia 7	% BIO	Dia 14	% BIO	Dia 21	% BIO	Dia 28	% BIO	Peso final dia 35	% BIO
0,219	0,212	3,20	0,205	6,39	0,193	11,87	0,187	14,61	0,181	17,35
0,163	0,148	9,20	0,141	13,50	0,135	17,18	0,118	27,61	0,112	31,29
0,174	0,157	9,77	0,144	17,24	0,135	22,41	0,115	33,91	0,108	37,93
0,183	0,135	26,23	0,126	31,15	0,115	37,16	0,108	40,98	0,095	48,09
0,197	0,171	13,20	0,167	15,23	0,163	17,26	0,154	21,83	0,145	26,40
0,212	0,166	21,70	0,158	25,47	0,152	28,30	0,148	30,19	0,135	36,32
0,247	0,208	15,79	0,183	25,91	0,173	29,96	0,169	31,58	0,145	41,30
0,171	0,152	11,11	0,143	16,37	0,136	20,47	0,133	22,22	0,129	24,56
0,212	0,205	3,30	0,187	11,79	0,179	15,57	0,171	19,34	0,164	22,64
0,132	0,104	21,21	0,092	30,30	0,085	35,61	0,054	59,09	0,043	67,42
0,274	0,255	6,93	0,244	10,95	0,135	50,73	0,127	53,65	0,118	56,93
0,163	0,157	3,68	0,149	8,59	0,138	15,34	0,126	22,70	0,122	25,15
	TOTAL %	12,11		17,74		25,15		31,48		36,28

Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-5: Representación de pérdida de peso en 35 días



Fuente: Elaboración propia, 2022

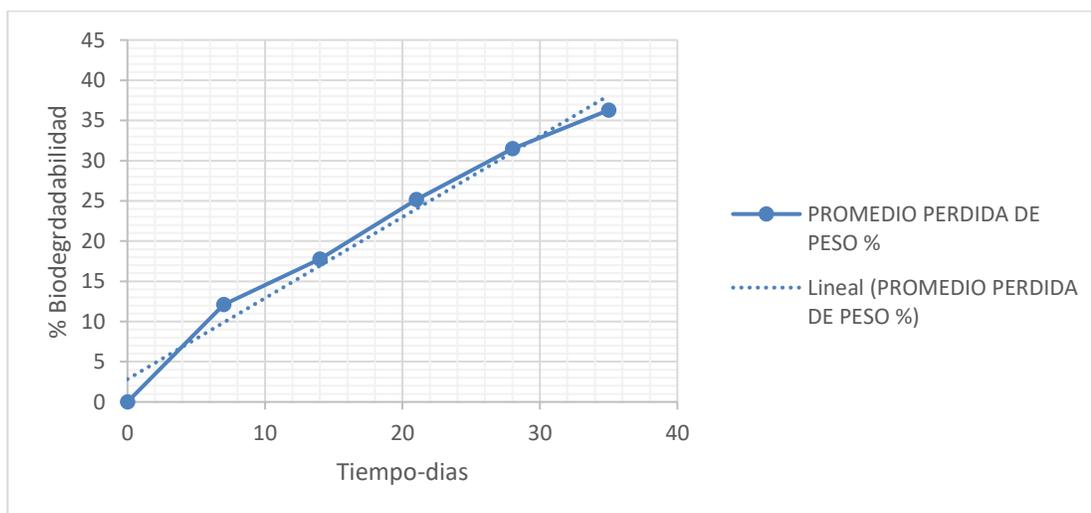
En la figura III-5. se observa que el experimento 10 obtuvo un mayor porcentaje de biodegradación en tierra.

Tabla III-13: Resultados biodegradación

	PROMEDIO		LIMITE DE REFERENCIA
	DIA	PERDIDA DE PESO %	
BIODEGRADABILIDAD	0	0	21,66-50% (Versino y García, 2018)
	7	12,11	
	14	17,74	
	21	25,15	
	28	31,48	
	35	36,28	

Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-6: % Biodegradabilidad vs Tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-7: Degradación final en tierra.



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la Figura III-7 se puede observar la apariencia y pérdida de masa en el día 35 de las láminas de bioplástico de los experimentos realizados por lo que se concluye que el experimento 10 correspondiente al bioplástico 4.1 que obtuvo un 67.42 % de biodegradabilidad en tierra.

A continuación, en la Tabla III-14 se muestran los datos obtenidos de la biodegradabilidad en agua obteniendo así un promedio del % de biodegradabilidad de cada experimento.

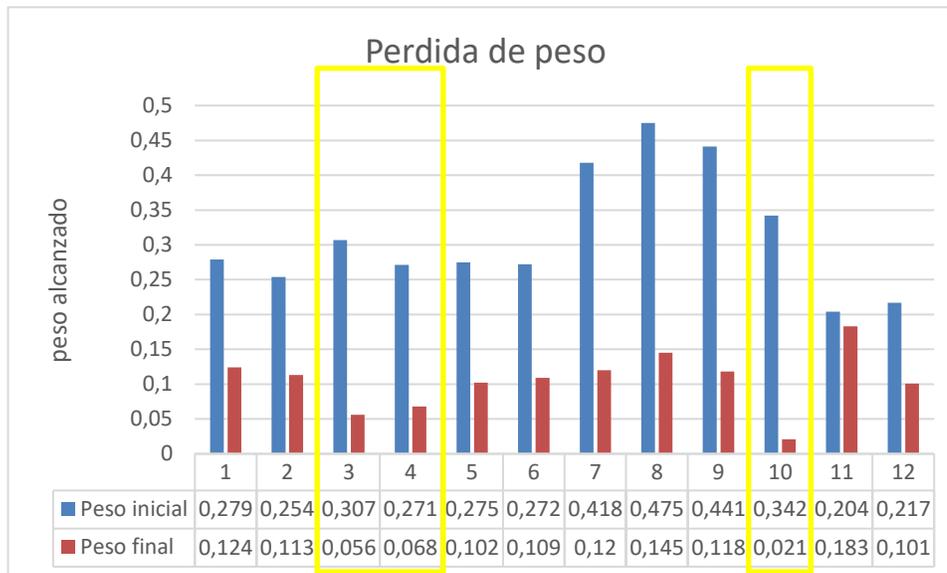
Tabla III-14: Datos biodegradabilidad en agua

Exp.	Rep	Peso inicial	Peso final	Pi-Pf	% biodegradación	% biodegradabilidad promedio
BIOPLAS T 1	1	0,279	0,124	0,155	55,55555556	64,27544141
	2	0,254	0,113	0,141	55,51181102	
	3	0,307	0,056	0,251	81,75895765	
BIOPLAS T 2	4	0,271	0,068	0,203	74,90774908	65,91443686
	5	0,275	0,102	0,173	62,90909091	
	6	0,272	0,109	0,163	59,92647059	
BIOPLAS T 3	7	0,418	0,121	0,298	71,29186603	71,33606021
	8	0,475	0,145	0,33	69,47368421	
	9	0,441	0,118	0,323	73,24263039	
BIOPLAS T 4	10	0,342	0,021	0,321	93,85964912	52,53666266
	11	0,204	0,183	0,021	10,29411765	
	12	0,217	0,101	0,116	53,4562212	

Fuente: Elaboración propia, 2022

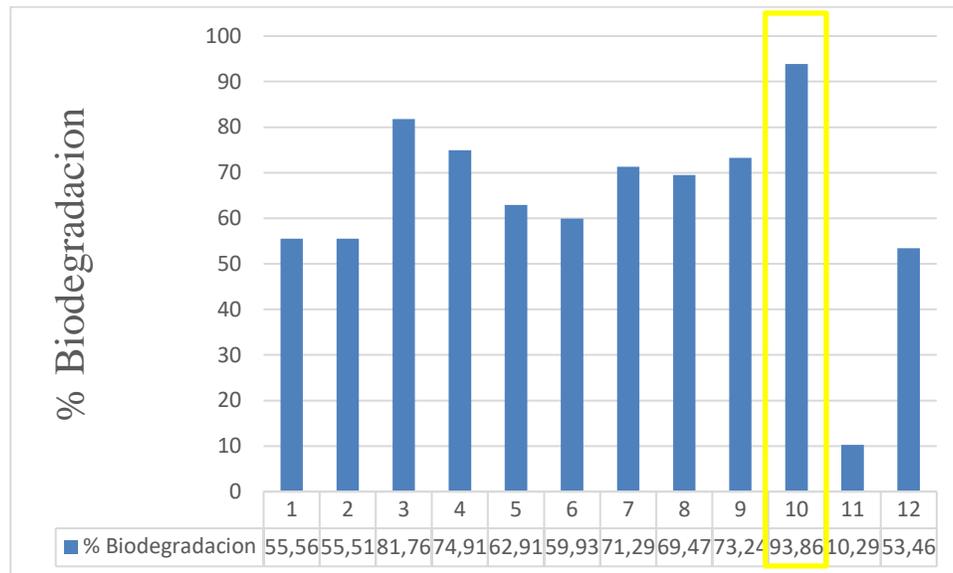
De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla III-14, Se puede representar la diferencia de perdida de los 12 experimentos mostrados en la siguiente Tabla III-15 destacando así que el experimento 3, 4 y 10 alcanzaron la mayor degradación física de pérdida de peso en 35 días.

Tabla III-15: Representación pérdida de peso en agua



Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, en la Figura III-9, se puede apreciar el % de biodegradación alcanzado en agua durante 35 días, destacando así al experimento 10 con un 93,86 % de biodegradación alcanzada.

Figura III-9: % Biodegradación física en agua

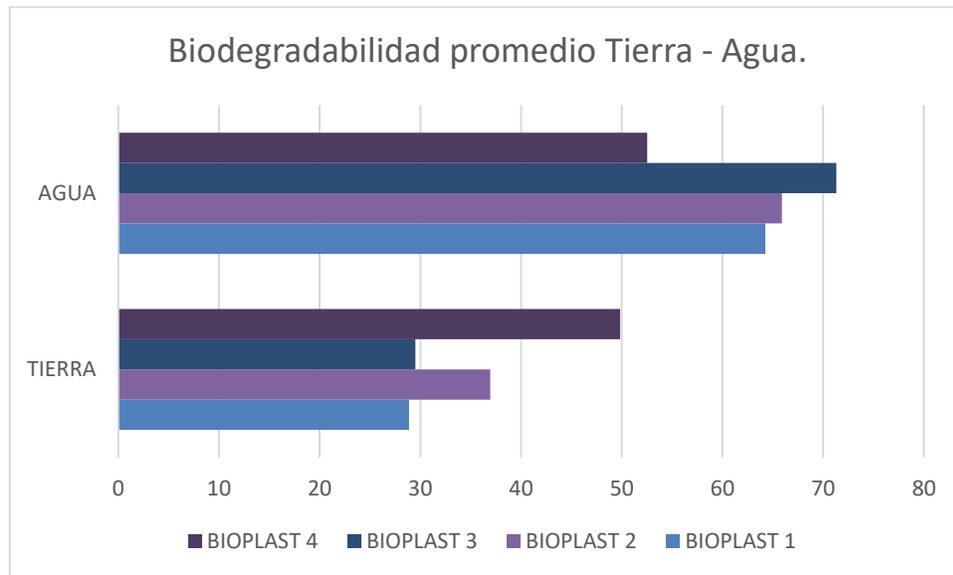
Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-16: Comparación biodegradación Tierra- Agua

EXPERIMENTO	TIERRA % BIODEGRDABILIDAD	AGUA % BIODEGRADABILIDAD
BIOPLAST 1	28,86	64,27
BIOPLAST 2	36,93	65,91
BIOPLAST 3	29,5	71,33
BIOPLAST 4	49,84	52,53

Fuente: Elaboración propia, 2022

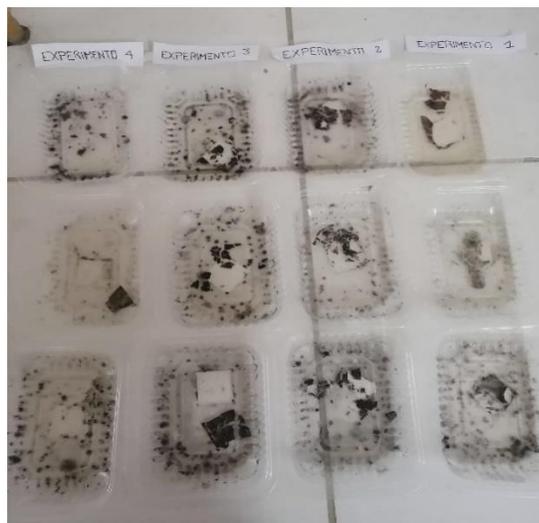
Figura III-11: Comparación Biodegradabilidad promedio Tierra-Agua



Fuente: Elaboración propia, 2022

Mediante la Figura III-11 se puede observar que el % de biodegradación es mayor que el % de biodegradabilidad promedio en tierra en los 4 experimentos.

Figura III-12: Representación gráfica degradación física en agua



Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3 Análisis estadístico

Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utilizó el programa SPSS STATISTICS 26 (Statistical Package for the Social Sciences).

Tabla III-17: Datos experimentales

N°	Matriz de experimentos		Plan de experimentación		Respuesta
	A	B	Glicerina (gr)	pectina (gr)	Espesor (mm)
1	-1	-1	2,5	1	0,21
2	1	-1	5	1	0,28
3	-1	1	2,5	1,5	0,34
4	1	1	5	1,5	0,31
5	-1	-1	2,5	1	0,21
6	1	-1	5	1	0,32
7	-1	1	2,5	1,5	0,35
8	1	1	5	1,5	0,36
9	-1	-1	2,5	1	0,22
10	1	-1	5	1	0,28
11	-1	1	2,5	1,5	0,32
12	1	1	5	1,5	0,37

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3.1. Análisis de Varianza Univariante

Se realiza un Análisis de Varianza Univariante, para poder determinar la influencia de los factores gr Glicerina y gr de pectina, verificando si todos los factores y sus combinaciones son significativos respecto a la variable espesor de la película de plástico biodegradable.

Tabla III-18: Factores Inter-sujetos

Factores inter-sujetos		
		N
Glicerina	-1	6
	1	6
Pectina	-1	6
	1	6

Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde N es el número de datos.

Entre mayor sea el número de datos es mucho mejor para que la respuesta estadística sea confiable. En este caso en particular para cada factor (gr de glicerina y pectina) tenemos 6 en su estado mínimo y 6 en su estado máximo, en caso de que N sea menor a 4 la respuesta estadística no sería confiable.

Tabla III-19: Pruebas Efectos Intersujetos**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Espesor

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,033 ^a	3	,011	24,115	,000
Intersección	1,062	1	1,062	2317,255	,000
Glicerina	,006	1	,006	13,255	,007
Pectina	,023	1	,023	51,073	,000
Glicerina * Pectina	,004	1	,004	8,018	,022
Error	,004	8	,000		
Total	1,099	12			
Total corregido	,037	11			

a. R al cuadrado = ,900 (R al cuadrado ajustada = ,863)

Fuente: Elaboración propia, 2022

El análisis de la varianza reparte la variabilidad de la respuesta rendimiento en segmentos separados para cada uno de los efectos, luego prueba la significancia estadística de cada efecto por comparación de la media cuadrada contra una estimación del error experimental, los efectos principales de glicerina, pectina y glicerina*pectina fueron altamente significativos para esta variable respuesta, puesto que tienen colas de significación menores a 0.05.

3.3.2. Determinación del Modelo Matemático

Para determinar el modelo matemático se realiza una regresión con todas las variables significativas; glicerina, pectina y glicerina*pectina y como variable dependiente el espesor de la película de plástico biodegradable que se muestran en la Tabla III-20:

Tabla III-20: Variables para la regresión

N°	Glicerina	pectina	Glicerina*Pectina	Espesor
1	-1	-1	1	0,21
2	1	-1	-1	0,28
3	-1	1	-1	0,34
4	1	1	1	0,31
5	-1	-1	1	0,21
6	1	-1	-1	0,32
7	-1	1	-1	0,35
8	1	1	1	0,36
9	-1	-1	1	0,22
10	1	-1	-1	0,28
11	-1	1	-1	0,32
12	1	1	1	0,37

Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, se muestra un resumen en la Tabla III-21 el modelo matemático y del análisis Anova para el espesor del plástico biodegradable donde el exponente hace referencia a las variables predictoras: (Constante), Glicerina*Pectina, Pectina, Glicerina.

Tabla III-21: Resumen del modelo matemático

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,949 ^a	,900	,863	,02141

a. Predictores: (Constante), GlicerinaPectina, Pectina, Glicerina

b. Variable dependiente: Espesor

Fuente: Elaboración propia, 2022

El análisis de varianza de Anova muestra un nivel de significación que tiende a cero, demostrando que el modelo matemático escogido es el correcto.

Tabla III-22: Análisis varianza

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	,033	3	,011	24,115	,000 ^b
	Residuo	,004	8	,000		
	Total	,037	11			

a. Variable dependiente: Espesor

b. Predictores: (Constante), GlicerinaPectina, Pectina, Glicerina

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la Tabla III-23 muestran los coeficientes para el modelo matemático del espesor de la película de plástico biodegradable.

Tabla III-23: Coeficientes del modelo matemático

Modelo		Coeficientes ^a		Beta	t	Sig.
		Coeficientes no estandarizados B	Desv. Error			
1	(Constante)	,298	,006		48,138	,000
	Glicerina	,023	,006	,406	3,641	,007
	Pectina	,044	,006	,797	7,147	,000
	GlicerinaPectina	-,018	,006	-,316	-2,832	,022

a. Variable dependiente: Espesor

Fuente: Elaboración propia, 2022

Según los coeficientes, el modelo matemático para la obtención de plástico biodegradable, responde a:

$$Y = 0.298 + 0.023 * X_1 + 0.044 * X_2 - 0.018 * X_1 * X_2$$

Donde:

X_1 = Glicerina

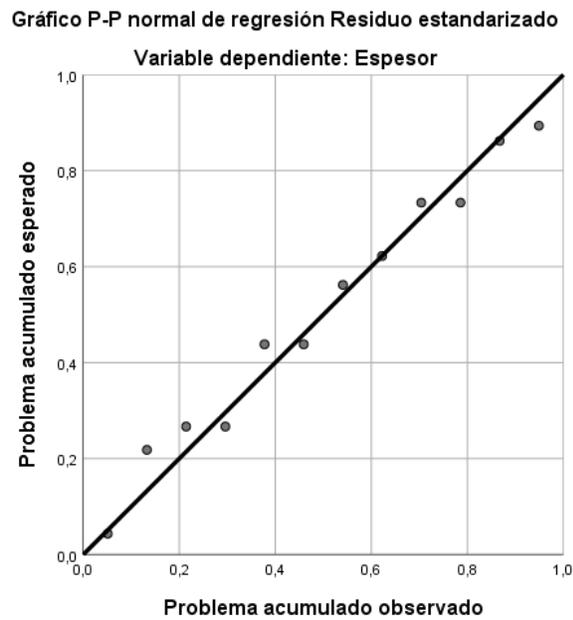
X_2 = Pectina

$X_1 * X_2$ = Glicerina * Pectina

Y = Espesor del plástico biodegradable.

A continuación, En la Figura III-13 se puede observar el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al modelo, algunos puntos no se ajustan al modelo, sin embargo, según el análisis Anova no muestra gran significancia el desajuste, motivo por el cual el modelo escogido es correcto.

Figura III-13: Modelo lineal



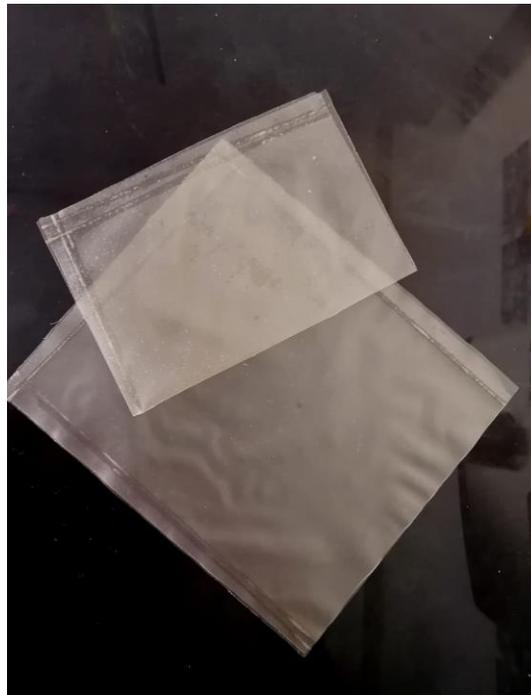
Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4. Aplicabilidad

En base a los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos descritos, se considera como principal parámetro al espesor cuyo resultado alcanzado por el bioplástico permite determinar la aplicación más idónea en la cual puede incursionar.

Se tiene a continuación una prueba piloto para la aplicación del bioplástico obtenido, de manera que se desarrollaron dos prototipos: un prototipo de lámina bioplástica que simula ser una bolsa de plástico tradicional para empaque, por otro lado, una funda de papel. Estos simulan la apariencia y estructura física de los ya conocidos plásticos comerciales.

Figura III-14: Bolsas plásticas



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura III-15: Funda para hojas



Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la Figura III-14 y III-15 se observa la aplicabilidad que se les dio a las láminas de plástico obtenidas a partir del almidón de cascara de papa a escala laboratorio.

3.4. Análisis de costos

3.4.1. Costos Directos.

Para la realización de los costos se tomaron en cuenta:

- Costos de materia prima e insumos
- Costos de materiales
- Costos de análisis fisicoquímicos.
- Costos de energía eléctrica
- Gasto en material de escritorio

Tabla III-24: Costos de materia prima y reactivos

COSTOS DE MATERIA PRIMA Y REACTIVOS						
N°	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	COSTO (Bs)
1	Materia Prima	casaca de papa (kg)	1	0	5	0
2	Reactivos para el proceso	Ácido acético al 96 % (ml)	1	35	100	35
3		glicerina (ml)	1	10	500	40
		pectina (gr)	1	10	50	50
4		Agua destilada (l)	1	4	20	60
Total						185

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-25: Costo de materiales

MATERIALES					
N°	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	COSTO (Bs)
1	Vaso de precipitado	250ml	45	2	90
2	Vaso de precipitado	100 ml	37	1	37
4	Probeta de vidrio	100 ml	45	1	45
5	Probeta de vidrio	10 ml	35	1	35
7	Espátula metálica	Mediana	25	1	25
8	Varilla	Mediana	25	1	25
9	Vidrio reloj	Grande	17	2	34
10	Caja Petri	100 mm	17	4	68
	Cernidor metálico	Mediano	15	1	15
11	Mortero de porcelana	Mediano	42	1	42
	baldes para lavado	Medianos	45	2	90
13	Termómetro de Hg	-10 a 100 ° C	42	1	42
	papel aluminio	una barra	15	1	15
15	Frasco lavador de plástico	1 000 ml	32	1	32
	Tubos para resistencia	pequeños	3	12	36
16	moldes para degradar	medianos	4	24	96
Total					718

Fuente: Elaboración propia, 2022

El costo de análisis de laboratorio corresponde a todos los gastos realizados para los análisis de la materia prima las cuales se muestran en la tabla III-26.

Tabla III-26: Costos de análisis fisicoquímicos de la materia prima

ÍTEM	DETALLE	UNIDADES	PRECIO UNITARIO (BS)	CANTIDAD	COSTO (BS)
1	Humedad	Análisis	40	1	40
2	Amilosa y amilopectina	Análisis	250	1	250
Total					290

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-27: Costos eléctricos de los equipos

ÍTEM	DETALLE	PRECIO (BS/KW-H)	POTENCIA (KW)	TIEMPO (H)	COSTO (BS)
1	Balanza analítica	0.68	0.80	4.45	2.42
2	Agitador Magnético	0.68	0.46	12	250
	Estufa	0.68	0.140	24	346
Total					598

Fuente: Elaboración propia, 2022

La suma de los costos directos se resume a continuación en la tabla III-28:

Tabla III-28: Resumen costos directos

Costos Directos	Precio (Bs)
Costos de materia prima y reactivos	185
Costos de materiales	718
Costos de análisis fisicoquímicos	290
Costo eléctrico de los equipos	598
Total	1791

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4.2. Costos Indirectos

Los gastos indirectos se detallan en la Tabla III-29:

Tabla III-29: Costos indirectos

ÍTEM	DETALLE	UNIDADES	PRECIO UNITARIO (BS)	CANTIDAD	COSTO (BS)
1	Internet	H	5	120	600
2	Transporte	Día	1	120	120
3	Impresión	Unidad	0.5	160*3	480
4	Anillado	Unidad	7	3	21
5	Empastado	Unidad	52	3	156
Total					1377

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4.3. Costo total

El costo total es la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla III-30: Resumen costo total

COSTOS	PRECIO (BS)
Costos directos	1 791
Costos indirectos	1 377
Total	3 168

Fuente: Elaboración propia, 2022

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Tal como se propuso en el presente trabajo de investigación se logró la obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa a escala laboratorio.

En consecuencia, se concluye diciendo:

- La dosis óptima en base a las formulaciones empleadas para la obtención está conformada por:

Tabla IV-1: Dosis óptima para la obtención de plástico biodegradable.

Insumos y reactivos	Cantidad (gr)
Almidón de cascara de papa	3.9
Pectina de cascara de limón	1.5
Glicerina	2.5
Acido acético	1.3
Agua destilada	59.8

Fuente: Elaboración propia, 2022

- El bioplástico obtenido con mejor puntuación en el análisis sensorial fue el que se tomó en cuenta para los ensayos fisicoquímicos, De modo que para la caracterización de las láminas se realizaron las muestras necesarias obteniendo los resultados presentados en la Tabla IV-2.

Tabla IV-2: Resumen de resultados

Ensayo	Resultados
Espesor	0.2 mm
Humedad	16.61 %
pH	7.89
Elongación	19.87 %

Fuente: Elaboración propia

- De acuerdo a los resultados obtenidos, las aplicaciones del producto plástico no deberán someterse a una resistencia a la tracción muy alta ni estar expuesto al agua o a unas condiciones de humedad elevadas; por lo tanto, la fabricación de bolsas plásticas o fundas plásticas para papel son los usos que podrían dársele para tratar de sustituir un producto.
- Realizadas las pruebas de biodegradabilidad se concluye que la mejor prueba alcanzo el 67,42% en tierra y el 93.85 % en agua.
- Se determinaron las curvas de biodegradabilidad de las láminas elaboradas, con la finalidad de representar el tiempo de degradación física demostrando los resultados obtenidos del almacenamiento de las diferentes formulaciones del bioplástico.
- El costo de obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de cascara de papa (a escala laboratorio) es de 3 168 Bs (incluye mano de obra) para obtener 2.320 g de producto (bolsas) por 5000 g de cáscara de papa.

4.1. Recomendaciones

- Utilizar partículas pequeñas y de un tamaño uniforme, con la finalidad de obtener una lámina más homogénea, sin partes abultadas, esto podría lograrse a través del pulverizado y tamizado de los insumos.
- Mantener una temperatura constante durante todo el proceso para una adecuada gelatinización del almidón evitando que se formen aglomeraciones para lo cual se sugiere trabajar a una temperatura constante de 65° C.
- Para obtener una buena homogenización, es importante mantener una agitación constante y durante un tiempo adecuado para lograr uniformidad en el producto de lo contrario nos traerá consigo una lámina dispareja, volviéndola vulnerable, por lo que al someterla a la prueba mecánica nos dará resultados erróneos.
- Debe continuar optimizándose el proceso de elaboración de plástico, para lo cual se recomienda continuar con la experimentación de otros agentes plastificantes.
- Este producto presenta menos resistencia física a comparación de los productos plásticos elaborados actualmente, como el PET o PVC, es por eso que se deben encontrar formas de mejorar esta característica para hacerla competitiva con los demás productos elaborados actualmente.
- Se recomienda que el producto final obtenido (bolsas plásticas) se use para materiales secos.