

EVALUACIÓN DE LA
BIODEGRADABILIDAD
DE PELÍCULA
CONSUMIBLE DE
ALMIDÓN DE PAPA
PASTUSA POR
CASTING

Natalia Moreno Morales

**EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE PELÍCULA CONSUMIBLE
DE ALMIDÓN DE PAPA PASTUSA POR CASTING**

NATALIA MORENO MORALES

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ÉNFASIS EN MATERIALES Y MANUFACTURA
BOGOTÁ D.C
2023**

AGRADECIMIENTOS

El presente Trabajo de Investigación ha sido dirigido por la Profesora Adriana Esguerra Arce, a quien quiero agradecer por sus orientaciones y constante apoyo durante la realización de este trabajo, además de agradecerle por su confianza depositada y las enseñanzas dadas que me han hecho crecer humana y profesionalmente.

Quiero asimismo dar las gracias a los Laboratoristas Diego Alejandro Alarcón Hernández y Roger Rincón Pulido, quienes con su conocimiento y experiencia en las prácticas fueron de gran apoyo para el desarrollo de los ensayos mecánicos.

De igual manera mi reconocimiento y agradecimiento a mi alma máter, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por cultivar e incentivar la investigación en nuestro país que tanto necesita.

Finalmente, me gustaría dedicar este trabajo a mi madre por su constante estímulo y apoyo diario, esencial para seguir adelante.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo General	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
4. MARCO TEÓRICO	11
4.1 Plásticos	11
4.1.1 PET – Tereftalato de polietileno	11
4.1.2 HDPE – Polietileno de alta densidad	11
4.1.3 PVC – Policloruro de vinilo	11
4.1.4 LDPE - Polietileno de baja densidad	12
4.1.5 PP – Polipropileno	12
4.1.6 PS – Poliestireno	12
4.1.7 OTROS – Plástico mezcla	12
4.1.8 Manufactura de plásticos	12
4.2 Contaminación medio ambiental	13
4.2.1 Causantes de la contaminación	13
4.3 Plásticos biodegradables	14
4.3.1.1 PLA - Ácido Poliláctico	14
4.3.1.2 PHA – Polihidroxialcanoatos	15
4.3.1.3 Bioplásticos basados en almidón	15
4.3.1.4 Bioplásticos basados en celulosa	15
4.3.2 Bioplásticos en el mercado	16
4.4 Almidón	16
4.5 Película comestible	18
4.5.1 Propiedades mecánicas	18
4.6 Prueba de tensión	19
4.7 Prueba de biodegradabilidad	19
4.8 Compostaje	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1 MATERIALES	22
5.2 METODOLOGÍA	23
5.2.1 Extracción del almidón	23

5.2.1.1	Preparación de la papa.....	23
5.2.1.2	Licuar	23
5.2.1.3	Sedimentación	24
5.2.1.4	Filtración	24
5.2.1.5	Secado	1
5.2.1.6	Molienda.....	1
5.2.1.7	Caracterización del almidón	1
5.2.2	Casting.....	1
5.2.2.1	Pesar	1
5.2.2.2	Homogenizar	1
5.2.2.3	Agregar plastificante	1
5.2.2.4	Plastificar.....	1
5.2.2.5	Secar.....	1
5.2.2.6	Caracterización de la película comestible	2
5.2.3	Ensayo de biodegradabilidad.....	2
5.2.4	Ensayo de tensión.....	4
6.	RESULTADOS	5
	5
6.1	POLVO DE ALMIDÓN	5
6.1.1	FTIR – ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER 6	
	PELÍCULA COMESTIBLE	7
6.1.2	FTIR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER DE PELÍCULA COMESTIBLE VS ALMIDÓN	7
6.1.3	CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO	8
6.1.4	TERMOGRAVIMETRIA	11
6.1.5	BIODEGRADABILIDAD	12
	CONCLUSIONES	16
	CRONOGRAMA	17
	BIBLIOGRAFÍA.....	18

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Molécula del Ácido Poliláctico</i>	15
<i>Ilustración 2. Molécula del Polihidroxialcanoato</i>	15
<i>Ilustración 3. Molécula de la celulosa</i>	15
<i>Ilustración 4. Proceso de extracción del almidón de la papa.</i>	24
<i>Ilustración 5. Fabricación de bioplástico a partir de papa pastusa.</i>	1
<i>Ilustración 6. Corte de las muestras para prueba de biodegradabilidad.</i>	3
<i>Ilustración 7. Esquematación del ensayo de biodegradabilidad</i>	3
<i>Ilustración 8. Corte de las muestras para el ensayo de tensión</i>	4
<i>Ilustración 9. Morfología del almidón de papa pastusa</i>	5
<i>Ilustración 10. Granulometría del almidón de papa pastusa</i>	5
<i>Ilustración 11. FTIR del almidón de papa pastusa</i>	6
<i>Ilustración 12. Comparación de la primera banda de FTIR</i>	7
<i>Ilustración 13. Calorimetría Diferencial de Barrido de almidón plastificado de papa pastusa</i>	9
<i>Ilustración 14. Identificación de la Temperatura de Transición Vítrea</i>	9
<i>Ilustración 15. Identificación de la Temperatura de Fusión</i>	10
<i>Ilustración 16. Identificación de la Temperatura de Degradación</i>	10

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Materiales requeridos en cada fase del proyecto.</i>	22
<i>Tabla 2. Pruebas de composición realizadas.</i>	1
<i>Tabla 3. Tiempos del ensayo de biodegradabilidad</i>	3
<i>Tabla 4. Resultados del estudio de biodegradabilidad de la película comestible</i>	14

GLOSARIO

◆————◆

1. **Biodegradable:** Grado de degradabilidad de un material en presencia de agentes biológicos que pueden alterar el proceso de descomposición de dicha sustancia.
2. **Biopolímero:** Polímeros derivados del petróleo, de origen vegetal o sintético que pueden ser reducidos por organismos vivos.
3. **Sustrato:** Tierra preparada con material sólido biótico o abiótico que se usa para cultivos.
4. **Compost:** Fertilizante compuesto por desperdicios orgánicos, como materia vegetal o animal los cuales entran en descomposición.
5. **Termogravimetría:** Es un método de análisis térmico en el cual la masa de una muestra se mide a lo largo del tiempo a medida que aumenta la temperatura.
6. **Calorimetría diferencial de barrido:** Técnica utilizada para caracterizar la estabilidad de una biomolécula directamente en su forma nativa.
7. **Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier:** Técnica empleada para obtener una huella dactilar molecular de una muestra que absorbe la onda infrarroja de acuerdo con los enlaces químicos y estructurales.
8. **Amilosa:** Molécula del almidón constituida por anillos lineales de glucosa unidos.
9. **Amiloide:** Molécula del almidón que contiene ramificaciones de glucosa.
10. **SEM (Microscopia de Barrido Electrónico):** Técnica utilizada para identificar y analizar fases cristalinas y transiciones en los materiales.
11. **Película Consumible:** Revestimiento delgado o lámina fina de un material.

RESUMEN

En la actualidad, el almidón es uno de los materiales más promisorios para la fabricación de plásticos biodegradables debido a su abundancia en distintos ambientes con la capacidad de sustituir los materiales de empaque clásicos. Con el objeto de seguir ampliando las posibilidades de fabricación de plásticos ecológicos y sustentables, se desarrolla una investigación en el uso del almidón de papa pastusa para la fabricación de un bioplástico, realizando principal énfasis en el estudio del ensayo de biodegradabilidad para analizar el comportamiento de las películas obtenidas en el ambiente del compost, haciendo uso de materiales naturales con los que se cuenta comúnmente en un hogar, con el propósito de establecer relación más estrecha entre el consumidor y sus desechos. En los resultados obtenidos se encontró que el conservante tiene un efecto en el color del almidón según las proporciones en la que se use, tomando un color rojizo claro, por lo que se encuentra una relación directa entre el color y la cantidad utilizada. En la producción de la película consumible se determinó que las variables directas que influyen sobre el proceso son la temperatura, el tiempo de secado, el contenido de plastificante y la cantidad de almidón, para lo cual se variaron estos parámetros encontrando que, con 40 minutos de homogenización, 20 minutos de plastificación a una temperatura de 70°C, y tiempo de secado de 120 horas en la mufla se obtenían los resultados esperados. Finalmente, en el ensayo de biodegradabilidad se encontró que entre en 12 semanas el material se logra descomponer en un 43,45% bajo las condiciones de compostaje.

Palabras Clave: Almidón, biopolímero, biodegradable, casting, FTIR.

1. INTRODUCCIÓN

Dadas las condiciones climáticas, hoy en día no se deja de pensar sobre el cuidado del planeta tierra, el calentamiento global, los incendios forestales y por supuesto, el exceso de contaminación generado por los plásticos en los mares, desiertos y ríos. Los plásticos convencionales fabricados a partir de derivados del petróleo han originado grandes problemas de contaminación debido a su elongado tiempo de degradación y los efectos que produce mientras esto sucede. Al respecto se ha empezado a desarrollar investigaciones con el fin de obtener plásticos biodegradables que ofrezcan las mismas funcionalidades de los tradicionales sustituyéndolo en aplicaciones similares.

Un bioplástico es un material que se descompone rápidamente en comparación del plástico tradicional, apostando al desarrollo sostenible con bajas emisiones de dióxido de carbono, degradándose por acción de microorganismos bajo condiciones naturales de la biosfera. Estos materiales se han venido desarrollando comúnmente con el almidón de origen vegetal, como la papa, el tubérculo más abundante originario en América del sur, el cual está compuesto en un 20% por almidón dependiendo la variedad que se estudie.

Para abordar el proceso de producción de un bioplástico se considera de gran importancia evaluar la proporción de glicerol utilizado en el casting, ya que de esto depende el proceso de degradación del material. Además, se realiza una caracterización del almidón y la película comestible a partir de una espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier, Calorimetría diferencial de barrido, Microscopía de barrido electrónico y ensayo de tensión, con el fin de estudiar sus principales compuestos y verificar los componentes principales del almidón.

Por último, el objetivo de esta investigación es evaluar la biodegradabilidad de la película comestible por medio de un ensayo de degradación en compostaje, para obtener muestras que indiquen el comportamiento del material en el tiempo dentro de dicho ambiente

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Producir un polímero biodegradable haciendo uso del almidón de papa, el cual responda a las necesidades de la industria y la sostenibilidad del medio ambiente.

2.2 Objetivos Específicos

- ≈ Extraer polvo de almidón de papa pastusa.
- ≈ Identificar la morfología y tamaño del polvo, así como la composición química del almidón por medio de SEM, granulometría láser y FTIR.
- ≈ Obtener película consumible a partir del almidón de papa pastusa por el proceso de *casting*.
- ≈ Evaluar la biodegradabilidad del bioplástico por compostaje a varios días.
- ≈ Determinar la resistencia a la rotura del bioplástico a tensión.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la historia, los plásticos dieron paso al desarrollo industrial en muchos sectores gracias a su versatilidad y el amplio rango de posibilidades de uso en la vida cotidiana de las personas, lo cual aumentó exponencialmente de una forma imparable la fabricación de productos a base de este material. Lo que hoy en día, ha generado una gran problemática por la contaminación masiva que se ha causado afectando a los ecosistemas acuáticos, aéreos y terrestres en tal magnitud que la supervivencia de muchas especies se ha visto amenazada, sin mencionar las emisiones de gases de efecto invernadero que la producción de este material genera y las sustancias químicas que emiten los plásticos en su proceso de degradación.

Además, el tiempo de degradación del plástico es uno de los más extensos, el cual se encuentra en un rango de 100 a 1.000 años dependiendo de sus componentes, por lo cual en los últimos años se han buscado múltiples alternativas para la disposición del plástico al finalizar su ciclo de vida y sustitución de este material por uno que pueda satisfacer las necesidades de la industria con una visión prometedora para el medio ambiente.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Plásticos

El plástico es un material formado por polímeros conformados por largas cadenas moleculares de compuestos, procedente de recursos naturales como el petróleo, gas natural, carbón y sal común. La etimología de su nombre da a entender que son materiales que tienen la capacidad de ser moldeados por calor. Suelen clasificarse de manera general en plásticos naturales, semisintéticos y sintéticos dependiendo de su origen. Dependiendo de su estructura interna se pueden clasificar como termoplásticos o termoestables.

Los plásticos termoplásticos son aquellos que se caracterizan por no sufrir cambios en su estructura química durante el calentamiento, por lo que se pueden calentar y volver a moldear cuantas veces se desee, a diferencia de los plásticos termoestables que, una vez transformados por la acción del calor, no pueden ya modificar su forma.

Teniendo en cuenta el Código de Identificación de Resinas o Código de Identificación del Plástico de la Sociedad de Industrias del Plástico, se plantea la siguiente clasificación de los plásticos en la industria:

4.1.1 PET – Tereftalato de polietileno

Es el plástico No. 1 del código, el cual se produce a partir del ácido tereftálico y el etilenglicol, por policondensación. Existen dos tipos, grado textil y botella, los cuales se distinguen por su producción, ya que para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos. Teniendo como ventajas una barrera a los gases, liviano, impermeable y no tóxico.

4.1.2 HDPE – Polietileno de alta densidad

Es el plástico No. 2 del código. Es un termoplástico fabricado a partir del etileno, compuesto elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural. Se caracteriza por su versatilidad y moldeabilidad, teniendo como ventajas la resistencia a bajas temperaturas, que es liviano, impermeable y no tóxico.

4.1.3 PVC – Policloruro de vinilo

Es el plástico No. 3 del código, el cual se produce a partir de dos materias primas naturales: 43% gas y 57% sal común. Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Tiene como ventajas la resistencia a la intemperie, que es ignífugo, no tóxico e impermeable.

4.1.4 LDPE - Polietileno de baja densidad

Es el plástico No. 4 del código, el cual se produce a partir del gas natural. Al igual que el polietileno de alta densidad, es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas. Dentro de sus características se resalta su transparencia, flexibilidad y economía, lo cual hace que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones, debido a sus ventajas como la flexibilidad, que es inerte, no tóxico, impermeable y liviano.

4.1.5 PP – Polipropileno

Es el plástico No. 5 del código, es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno, en el cual los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso, formando un plástico rígido, de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y el de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería.

4.1.6 PS – Poliestireno

Es el plástico No. 6 del código. El poliestireno se divide en dos tipos, el cristal y el de alto impacto, siendo el cristal un polímero de estireno monómero derivado del petróleo, cristalino y de alto brillo, y el de alto impacto un polímero de estireno monómero con inclusiones de polibutadieno, que le confieren alta resistencia al impacto. Tiene ventajas como ser inerte, no tóxico, ignífugo, fácil de limpiar y liviano.

4.1.7 OTROS – Plástico mezcla

En el código No. 7 se incluyen una enorme variedad de plásticos, tales como policarbonato (PC), poliamida (PA), ABS, SAN, EVA, poliuretano (PU), acrílico (PMMA) entre otros. Se puede desarrollar un tipo de plástico para cada aplicación específica. Suelen tener algunas ventajas como la resistencia a la corrosión, flexibilidad, livianos, no tóxicos, alta resistencia a la temperatura.

4.1.8 Manufactura de plásticos

Los plásticos tienen miles de variedades con diferentes estructuras básicas, derivados y aditivos que se formulan para abarcar una amplia gama de propiedades funcionales y estéticas, por lo cual tienen una amplia posibilidad de ser procesados de distintas formas, como se mencionan a continuación:

- Impresión 3D
- Mecanizado CNC
- Fundición de polímeros

- Moldeo por rotación
- Moldeo en vacío
- Moldeo por inyección
- Extrusión
- Moldeo por soplado

4.2 Contaminación medio ambiental

La contaminación ambiental es la presencia de componentes nocivos, ya sean químicos, físicos o biológicos, en el medio ambiente, que supongan un perjuicio para los seres vivos que lo habitan, incluyendo a los seres humanos. La contaminación ambiental está originada principalmente por causas antropogénicas, por lo que ha aumentado considerablemente con el aumento de la población humana y el incontrolable avance del desarrollo industrial, provocando un desequilibrio en el medio ambiente ante distintos contaminantes físicos, químicos y biológicos.

4.2.1 Causantes de la contaminación

Los causantes de la contaminación se pueden identificar de manera específica teniendo en cuenta el ecosistema que se ve afectado, por ejemplo, la contaminación del agua, que es la acumulación de una o más sustancias ajenas al agua que pueden generar una gran cantidad de consecuencias, entre las que se incluye el desequilibrio en la vida de los seres vivos, donde se identifican los siguientes factores de contaminación:

- Vertidos de aguas negras.
- Derrames de petróleo.
- Productos fitosanitarios.
- Deforestación, tala indiscriminada de árboles.
- Aumento de temperatura.

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y seres de la naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables y enfermedades, en lo cual se identifican los siguientes factores de contaminación:

- La extracción de hidrocarburos de los campos de petróleo, de carbón y de gas.
- La combustión de combustibles por el transporte.
- El proceso digestivo de los bovinos por la masiva industria agrícola-ganadera.
- La actividad microbiana en aguas servidas.
- La combustión de bosques tropicales.
- Emisiones y vertidos industriales a la atmósfera y a la hidrósfera.

Los gases de efecto invernadero son la principal fuente de contaminación del aire e incluyen dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y hexafluoruro de azufre, ya que cuando estos gases aumentan de forma considerable se rompe el equilibrio natural provocando efectos devastadores como el calentamiento global, el deshielo de los polos, la disminución de los recursos hídricos, el riesgo de supervivencia de miles de especies y alteraciones en el clima que repercuten en la vida de todos los seres vivos.

La contaminación del suelo es una degradación de la calidad del suelo asociada a la presencia de sustancias químicas, produciendo un aumento en la concentración de compuestos químicos, que provoca cambios perjudiciales y reduce su empleo potencial, tanto por parte de la actividad humana, como por la naturaleza, en lo que se identifican los siguientes factores de contaminación:

- Almacenamientos subterráneos.
- Uso de pesticidas.
- Residuos urbanos.
- Residuos industriales.
- La minería.
- Escombros industriales.

4.3 Plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables son polímeros capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en el medio ambiente denominado biosfera. Además, los plásticos biodegradables que se biodegradan en condiciones de una planta de *compost* se denominan compostables, definiéndolos como biodegradables. Sin embargo, no todos los plásticos biodegradables son compostables. Esto depende de las condiciones del *compost*, del tiempo y de si se trata de plantas de *compost* industriales o domésticas.

A diferencia de los plásticos biodegradables, el plástico convencional solo se degrada por la acción de los rayos ultravioletas del sol. Con el paso del tiempo, se fragmenta en pequeñas partículas, los micro plásticos, que no experimentan cambios en su composición y que, por tanto, no pueden ser digeridas por los seres vivos.

4.3.1.1 PLA - Ácido Poliláctico

El ácido Poliláctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico, altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este ácido tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos, principalmente para impresión 3D. Su estructura principal consta de un grupo carboxilo y de un radical metilo que está unido al metino de la cadena del polímero, como se puede observar en la ilustración 1.

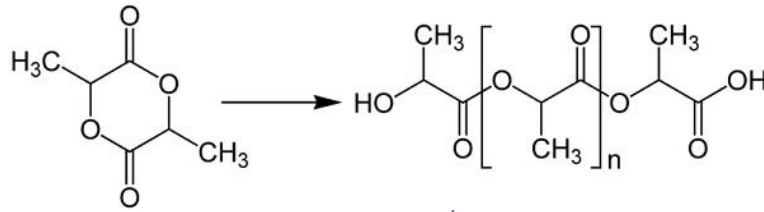


Ilustración 1. Molécula del Ácido Poliláctico

4.3.1.2 PHA – Polihidroxicanoatos

Los polihidroxicanoatos son plásticos biocompatibles y biodegradables sintetizados por una amplia variedad de microorganismos, que comparten características muy similares con los plásticos de origen petroquímico, procedentes de la fermentación bacteriana de materiales primas vegetales por la acción de las bacterias por fermentación del azúcar o lípidos. Estructuralmente son polímeros de hasta 150 monómeros distintos de ácidos grasos hidroxilados en el carbono 3, que representan esterificado su grupo carboxilo para crear uniones con el grupo hidroxilo del siguiente monómero y así elongar la molécula que se puede observar en la ilustración 2.

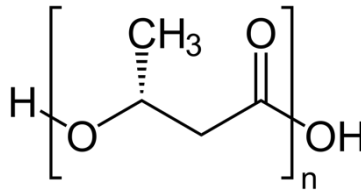


Ilustración 2. Molécula del Polihidroxicanoato

4.3.1.3 Bioplásticos basados en almidón

En la industria, actualmente encontramos plásticos fabricados con almidón proveniente de distintas materias primas vegetales como la yuca, el maíz, el aguacate y la papa, los cuales se empezaron a desarrollar en búsqueda de disminuir el impacto ambiental que están generando los plásticos de un solo uso.

4.3.1.4 Bioplásticos basados en celulosa

Los plásticos basados en la celulosa sacan provecho del principal constituyente de las paredes celulares de las plantas, el cual es el polímero natural más abundante de la Tierra y constituye una fuente casi inagotable de materia prima, por medio del proceso llamado *hidrosetting*.

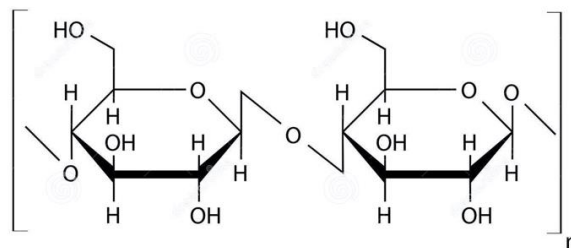


Ilustración 3. Molécula de la celulosa

La celulosa se forma por la unión de moléculas de β -D-glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico, la cual, al hidrolizarse totalmente se convierte en glucosa. La celulosa es una larga cadena polimérica de peso molecular variable. En la ilustración 3 se muestra la molécula correspondiente a la celulosa.

4.3.2 Bioplásticos en el mercado

En el mercado, se encuentran plásticos biodegradables de origen biológico o no, tales como el PLA Ácido Poliláctico, PHA Polihidroxicanoato, Biopoliéster (PBS, PCL, PBAT, etc.).

- Los Biopoliésteres son una gama de poliésteres termoplásticos biodegradables y compostables que pueden ser parcialmente producidos a partir de biomasa renovable de forma anual como la caña de azúcar. Serán 100 % de origen biológico en los próximos años. Utilizados para fabricar envases flexibles y rígidos como el ejemplo de la Figura 1, caracterizándose por ser biodegradables en diferentes medios y compostables industrialmente, translúcidos y aptos para contacto con alimentos.



Figura 1. Ejemplo de uso de un Biopoliéster como envase de comida

- Los PHA son poliésteres termoplásticos producidos a partir de biomasa renovable anualmente como el maíz o varios azúcares de actividades agrícolas. Los avances en el proceso de industrialización eventualmente harán posible producir estos polímeros a partir de desechos o coproductos de diferentes industrias. Los cuales se caracterizan por ser 100% de base biológica, biodegradables en diferentes ambientes e industrialmente compostables, rígidos, opacos y aptos para tener contacto con comida.

4.4 Almidón

Estructuralmente, el almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces.

El almidón de papa es un polímero natural, obtenido del tubérculo de una planta que se da en tierra, por lo general a bajas temperaturas, dentro de lo que se encuentra que una papa tiene de un 77% a 75% de agua, 2% a 2.5% de proteínas, 1% a 1.8% de fibra, 0.15% de ácidos grasos y 16% a 20% de almidón.

La amilosa es una cadena teóricamente lineal como se muestra en la ilustración 4, pero en la práctica existen algunas sustituciones iguales a las de la amilopectina, una cada varios centenares de moléculas, que no modifican sus propiedades. En la amilopectina se encuentran 20 dos tipos de enlace entre las unidades de glucosa.

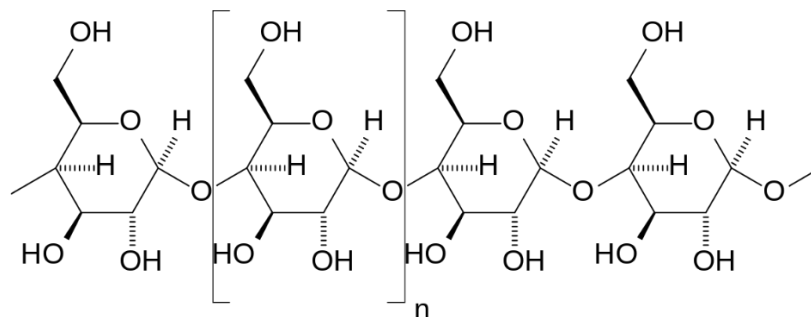


Ilustración 4. Estructura química de la amilosa

Los contenidos de amilosa que se han estudiado de distintas materias primas vegetales como los almidones de makal, camote, yuca y sagú han sido de 23,6%, 19,6%, 17,0% y 22,7%, respectivamente, los cuales resultan ser menores al compararlos con el de maíz (28,3%). El almidón de camote es similar al almidón de papa, con un contenido de amilosa de 21% (BETANCUR-ANCONA et al., 2001). El contenido de estos dos componentes (amilosa y amilopectina), así como los contenidos de proteína, grasa, fibra y cenizas, son determinantes en las características estructurales y funcionales de los almidones, condicionando a estos, a que puedan ser agregados a un alimento en particular.

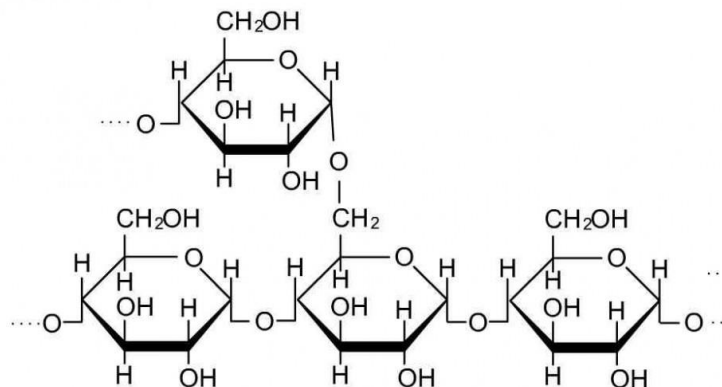


Ilustración 5. Estructura química de la amilopectina

Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6) como se observa en la Ilustración 5, dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15 - 25 unidades de glucosa.

4.5 Película comestible

Una película comestible es una capa preformada elaborada con material comestible, que se aplica sobre los alimentos para prolongar su vida útil (McHugh 2000), que puede ser formada sobre el alimento como una cobertura o preformada como una película, y que puede colocarse entre los componentes de un alimento o ser un envoltorio para éste. Son generalmente elaboradas de biopolímeros como carbohidratos, proteínas y lípidos. Las películas comestibles de almidón y gelatina han sido ampliamente estudiadas debido a su potencial en la conservación de alimentos; sin embargo, debido al carácter hidrofílico de sus componentes, éstas presentan deficientes propiedades de barrera.

4.5.1 Propiedades mecánicas

- Resistencia a la ruptura: A incrementar el porcentaje del almidón, la resistencia de la película aumenta, esto debido a un mayor número de interacciones entre los grupos hidroxilo del almidón y las cadenas proteicas (Aguilar-Méndez, 2008). De acuerdo con Gontard, (1992), altas concentraciones de proteína favorecen y mejoran las interacciones entre los componentes de una matriz polimérica, obteniendo películas resistentes. Por otro lado, se ha demostrado una disminución en la resistencia a la ruptura con el aumento de la concentración del glicerol. Este comportamiento se debe al efecto plastificante del glicerol, ya que éstos reducen las interacciones entre las cadenas adyacentes en el biopolímero, dando lugar a la movilidad creciente y, por tanto, a la flexibilidad de las películas.

Deformación: La deformación de las películas aumenta a medida que la concentración del plastificante es mayor, donde el plastificante aumenta la flexibilidad de la película y reduce la fragilidad, además, se presenta un aumento en la deformación al incrementar la concentración del glicerol.

- Permeabilidad al vapor: Se presenta un aumento en la permeabilidad al vapor de agua al incrementar la concentración de plastificante, ya que el carácter higroscópico de la gelatina conduce a una alta afinidad por las moléculas de agua, por lo tanto, resulta en una mayor difusión de agua dando a películas con mayor permeabilidad al vapor de agua, de igual manera se presenta un aumento en la permeabilidad al vapor de agua al incrementar la concentración del glicerol. El glicerol tiene la capacidad de reducir las interacciones entre los biopolímeros, lo que aumenta el espacio intermolecular y por lo tanto la permeabilidad al vapor de agua de las películas. Además, dicho plastificante, al ser una molécula hidrofílica favorece la adsorción-desorción de las moléculas de agua.
- Solubilidad: La película tiene un aumento en la solubilidad de las películas al incrementar el contenido de proteína. El contenido de glicerol tiene gran importancia en la solubilidad de las películas, debido a que es una molécula hidrofílica, la cual es

compatible con los biopolímeros que conforman la película, por lo que, a mayor concentración de glicerol, la solubilidad de la película aumenta.

4.6 Prueba de tensión

El ensayo de tensión provee información sobre la resistencia y ductilidad de los materiales mediante tensiones de tracción uniaxiales. Esta información será útil para comparar materiales entre sí, desarrollar nuevos materiales, mantener un control de calidad y para diseñar bajo ciertas circunstancias.

Un ensayo de tensión emite 4 principales datos mecánicos:

- Límite Elástico: es el esfuerzo máximo que permite el material antes de sufrir deformaciones permanentes.
- Fuerza de Tensión: es el esfuerzo máximo que permite un material antes de iniciar la rotura.
- Elongación: es el porcentaje de alargamiento longitudinal total de la muestra mecanizada.
- Reducción de área: es el porcentaje de reducción transversal de la muestra mecanizada.

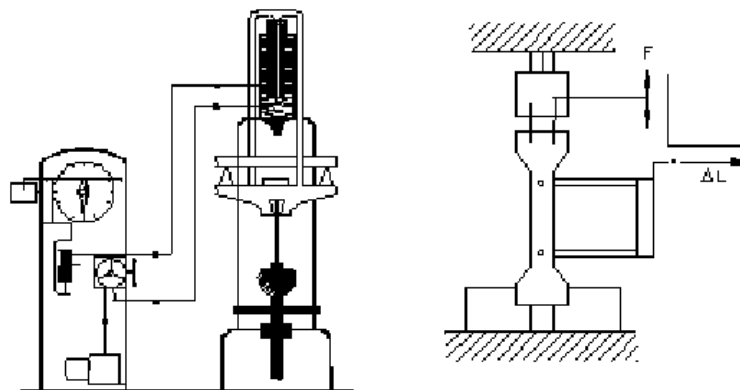


Ilustración 6. Esquema del ensayo de tensión

La resistencia a la tensión en un material es el esfuerzo requerido para romperlo en un ensayo a tracción. El valor de esta propiedad en los materiales depende principalmente de su estructura química, naturaleza y arreglo de los átomos y de su peso molecular. También puede influir su procesamiento e historia térmica.

4.7 Prueba de biodegradabilidad

Los ensayos de biodegradación miden el complejo proceso bioquímico que se produce cuando los microorganismos consumen un determinado tipo de material, donde la capacidad de biodegradación de un producto depende de la cantidad de carbono disponible para el consumo microbiano. Se utilizan para determinar la biodegradabilidad de los productos en un entorno de uso determinado o previsto. Existen diversas normas de biodegradabilidad,

redactadas por distintos organismos como ISO, CEN, ASTM, DIN, etc. Los criterios para su clasificación son muy variados y pasan por:

- Medio en el que se produce la biodegradación.
- Variable de medida elegida.
- Presencia del oxígeno en el medio.
- Ausencia de oxígeno en el medio.

Las normas internacionales que más se emplean para determinar la biodegradabilidad de materiales plásticos son las siguientes:

- UNE-EN-ISO 14855:2005: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje.
- UNE-EN-ISO-14852:2005: Determina la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en medios acuosos.
- UNE-EN-ISO 17556:2005: Esta determina la biodegradabilidad aeróbica en el suelo. Y se determina a través de la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro.

4.8 Compostaje

El compostaje es una técnica mediante la cual se crean las condiciones necesarias para las que a partir de residuos orgánicos los organismos descomponedores fabriquen un abono de elevada calidad. Este proceso ayuda a reducir la cantidad de basura que acaba en vertedero o incineradora cerrando el ciclo de la materia orgánica, obteniendo un abono de elevada calidad para las plantas, sin ningún tipo de producto químico.

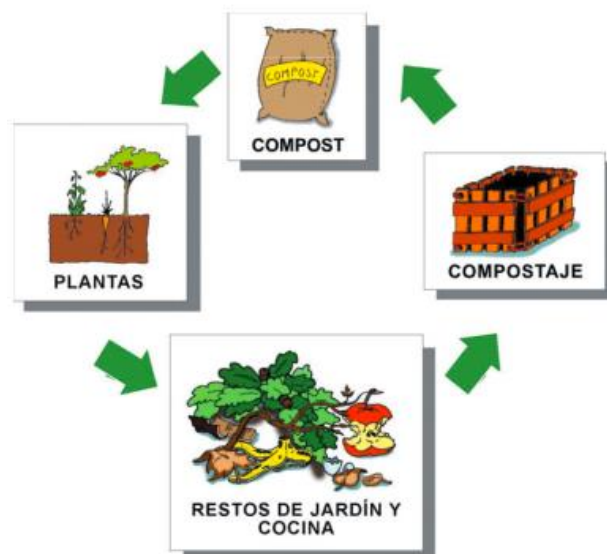


Ilustración 7. Ciclo del compostaje. Fuente "Amigos de la Tierra Folleto" https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost_esp_v04.pdf

Aunque el *compost* puede hacerse en una simple pila de restos orgánicos, resulta más práctico por cuestión de espacio el uso de un compostador, que se trata de la “herramienta” principal para realizar el proceso. Debe tener una serie de requisitos, como son:

- Sistema de ventilación para permitir la entrada de oxígeno.
- Sistema de cierre lateral para mantener las condiciones de temperatura.
- Sistema de cierre superior, para evitar la inundación por lluvia.
- Facilidad de apertura y manejo.
- Sin base, para permitir la entrada de aire y acceso de los organismos que habitan en el suelo y se encargan de la descomposición de los materiales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIALES

Los materiales que usaron en el desarrollo de la investigación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Materiales requeridos en cada fase del proyecto.

Fase	Materia Prima	Equipos	Reactivos	Herramientas
Extracción del almidón	Papa pastusa	Balanza Licuadora Mufla	Bisulfito sódico	Vaso de precipitado de 2L Cuchillo Mortero Embudo Cuchara Filtros de cafetera Bolsas de cierre hermético Recipiente resistente a altas temperaturas
Producción de películas	Almidón de papa.	Balanza Agitador magnético Mufla	Agua destilada Glicerol Sorbitol	Magneto Petri de vidrio Espátula Vaso de precipitado de 600 ml Cátodo
Ensayo mecánico	Muestras del bioplástico.	Máquina universal de ensayos.		Tijeras. Regla. Molde.
Prueba de biodegradabilidad	Sustrato. Seca rápido. Muestras del bioplástico.	Balanza.		Pala. Caja de compostaje.

5.2 METODOLOGÍA

Para la extracción del almidón de papa se inició retirando la cáscara de la papa, y posteriormente se cortó en pequeños trozos con el fin de licuarla por 3 minutos junto a agua destilada haciendo uso de una licuadora doméstica, guardando una relación 1:1 del sólido con la solución, además de añadir 0,5 gramos de bisulfito sódico por cada 100 gramos de papa.

5.2.1 Extracción del almidón

5.2.1.1 Preparación de la papa

La papa se lava cuidadosamente, se pela, se pica en trozos pequeños como se puede ver en la ilustración 3 y se guarda en un recipiente con agua con el fin de evitar la oxidación de la misma.



Figura 2. Preparación de la papa.

5.2.1.2 Licuar

Con solución acuosa $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, añadiendo 0,5 g por cada 100 g de agua, la papa picada se licúa con ayuda de una licuadora por 3 minutos, guardando una relación 1:1 de sólido solución.



Figura 3. Molienda Húmeda.

La suspensión resultante se somete a sedimentación por 2 horas a temperatura ambiente, con el fin de retirar el sobrenadante. Posteriormente, el sedimento se deja en filtración por 3 días, usando embudos y papel de filtro. Después el almidón obtenido se deja secar haciendo uso

de la mufla a una temperatura de 65° C por 24 horas, y así, finalmente, se obtiene el polvo de almidón por molienda. Este proceso se describe a continuación en la ilustración 5.

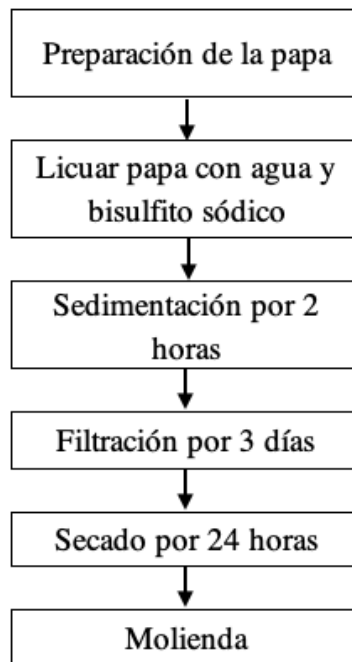


Ilustración 4. Proceso de extracción del almidón de la papa.

5.2.1.3 Sedimentación

La mezcla se deja por dos horas en reposo dentro de una probeta y se espera hasta obtener la sedimentación del almidón como se puede ver la siguiente figura.



Figura 4. Sedimentación del almidón.

5.2.1.4 Filtración

Antes de filtrar la muestra, se retira todo el sobrenadante posible sin dejar pasar el sedimento que se encuentra en la parte inferior. Posteriormente, el sedimento se vierte en el embudo

donde está puesto el filtro, el cual ayudará a que la mayor cantidad de agua salga del almidón como se ve en la ilustración.



Figura 5. Filtración

5.2.1.5 Secado

Por 24 horas a 65° C utilizando un recipiente resistente a altas temperaturas se coloca el papel de filtro sobre este para posteriormente dejarlo en la mufla.



Figura 6. Secado de almidón.

5.2.1.6 Molienda

Al sacar la muestra de la mufla se obtienen gránulos de almidón. Con ayuda de un mortero se tritura la muestra hasta conseguir el polvo de almidón como se ve en la ilustración 9.



Figura 7. Molienda

5.2.1.7 Caracterización del almidón

5.2.1.7.1 SEM

Se realizó microscopia electrónica de barrido SEM para identificar la morfología de las partículas obtenidas- Para ello, se utilizó Microscopio Electrónico marca JEOL JSM-649.

5.2.1.7.2 Granulometría Laser

Para la granulometría láser, se realizó la medición del tamaño de partícula por el método de Difracción de Rayo Láser y dispersión en húmedo, conforme a la Norma ISO 13320, utilizando un analizador de tamaño de partículas con tecnología de difracción láser, Mastersizer 2000 de Malvern Instruments con accesorios Hydro 2000MU e Hydro 2000SM, equipo que abarca un rango de tamaño de 0.02 micras a 2000 micras.

5.2.1.7.3 FTIR

Adicionalmente se realizó la prueba FTIR Espectroscopia Infrarroja por Transformación de Fourier con el fin de corroborar la presencia del almidón y llevar a cabo la caracterización química del almidón obtenido por la papa. La identificación de las bandas se llevó a cabo comparando los espectros con la literatura.

5.2.2 Casting

Teniendo el almidón dispuesto se procede a fabricar las películas del biopolímero con el fin de desarrollar ensayos mecánicos y la prueba de degradabilidad. Para lo cual se llevó a cabo un procedimiento de estandarización del proceso, ya que dependiendo de las propiedades mecánicas del almidón varía la temperatura de gelatinización lo cual cambia las variables del proceso para poder obtener la composición deseada, para lo cual se probaron distintas combinaciones como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Pruebas de composición realizadas.

Tipo de papa	Agua destilada [g]	Almidón [g]	Glicerol [g]
Papa pastusa	64,68	4,125	6,195
	66,51	4,245	4,345
	67,785	2,88	4,33
	90,38	3,85	5,77

Para estandarizar el proceso, se realizaron varias pruebas a distintas temperaturas para hallar la temperatura de gelatinización, con lo que se proseguía a establecer los tiempos adecuados para una homogenización completa. A continuación, se presenta el proceso de fabricación de la película del bioplástico:

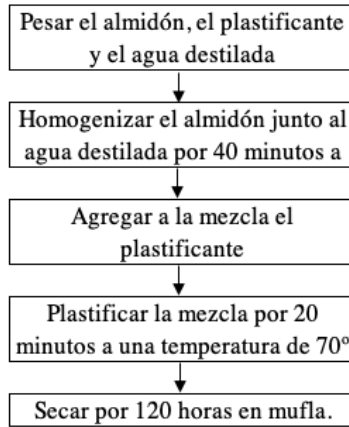


Ilustración 5. Fabricación de bioplástico a partir de papa pastusa.

5.2.2.1 Pesar

Se pesa el almidón, el agua destilada y el plastificante con ayuda de una balanza según las proporciones de la prueba que se va a realizar.



Figura 8. Pesar

5.2.2.2 Homogenizar

En un vaso Petri se añade el agua destilada junto al almidón, lo cual se pondrá en una plancha magnetizadora a una temperatura y tiempo determinado según sea el tipo de papa.



Figura 9. Homogenización.

5.2.2.3 Agregar plastificante

Se agrega el plastificante a la mezcla ya homogenizada con ayuda de una espátula.

5.2.2.4 Plastificar

Esta nueva mezcla se vuelve a colocar en la plancha magnetizadora por 20 minutos.

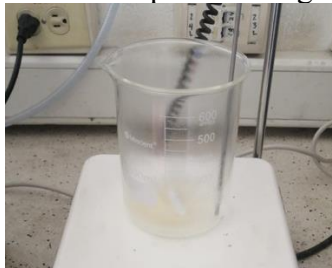


Figura 10. Plastificar

5.2.2.5 Secar

Obtenida la mezcla plastificada, se deja reposar 5 minutos retirando la espuma para vaciar en un Petri y secar en la mufla por 120 horas.

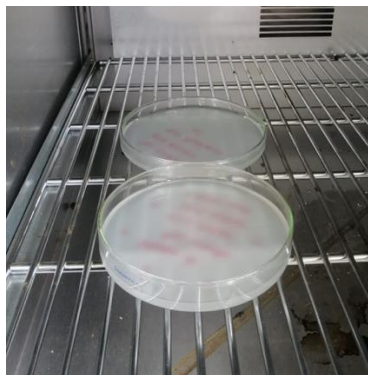


Figura 11. Secado de película.

5.2.2.6 Caracterización de la película comestible

5.2.2.6.1 FTIR

Obteniendo las películas con las propiedades que se buscaban, se procedió a realizar otro ensayo de FTIR Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier, con el fin de evaluar los cambios químicos que experimenta el almidón después de llevar a cabo el proceso de castin, permitiendo corroborar los enlaces químicos pertenecientes a la molécula.

El análisis se realizó por Espectroscopia de Infrarrojo el equipo PerkinElmer Spectrum 100 FTIR, en el cual se analizaron las muestras directamente por ATR (cristal de ZnSe), rango de trabajo (650 cm^{-1} a 4000 cm^{-1}). Resolución: 4 cm^{-1} , velocidad: 1 cm/s y barridos: 300, se utilizó el método de medición ATR en modo transmitancia, para lo cual se inspeccionaron las superficies de las muestras con el objetivo de garantizar una superficie completamente lisa de las mismas para realizar el ensayo, en algunos casos fue necesario cortar la muestra en trozos más pequeños. Las condiciones ambientales del laboratorio eran: una temperatura mínima de 22°C y temperatura máxima de 27°C , y humedad relativa: mínima de 44% y máxima de 60%.

5.2.2.6.2 DSC – TGA

Posteriormente se realiza el ensayo de DSC – TGA Calorimetría diferencial de barrido y Termogravimetría, con el fin de corroborar las propiedades térmicas, composición química buscada y propiedades mecánicas. Se empleó un equipo de análisis térmico diferencial simultáneo, SDTQ 600 de TA Instruments, el cual se encuentra calibrado siguiendo las especificaciones del fabricante. Las condiciones del método de ensayo fueron: una velocidad de calentamiento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, con un flujo de $100\text{ mL}/\text{min}$ y en crisol de alúmina. Se pesaron $10 \pm 1\text{ mg}$ de material y la prueba se llevó a cabo hasta 800°C en atmósfera de Aire.

5.2.3 Ensayo de biodegradabilidad

Al tener las muestras necesarias, se inician las pruebas de biodegradabilidad cortando de las muestras 4 partes como se puede ver en la ilustración 6.

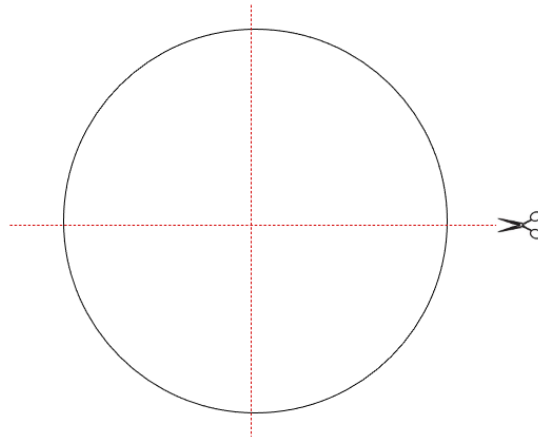


Ilustración 6. Corte de las muestras para prueba de biodegradabilidad.

Luego, se procede a realizar el ensayo de biodegradabilidad, para el cual se hace uso de sustrato y materia vegetal seca, siguiendo el patrón de cada una de las capas que se muestra en la Ilustración 7, donde la materia vegetal seca consta de 6 g, la primera capa del sustrato consta de 80 g y la segunda de 50 g.

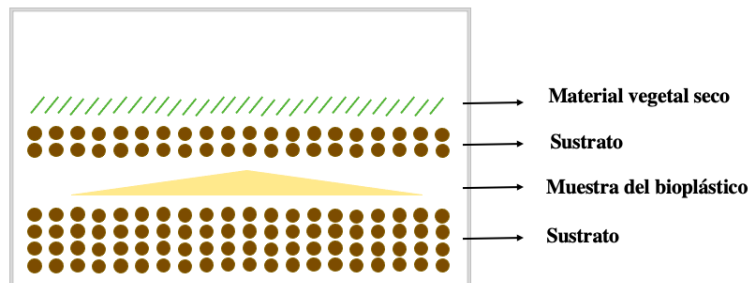


Ilustración 7. Esquematización del ensayo de biodegradabilidad

Este se deposita dentro de una botella reciclada, a la cual se le realizan unos agujeros en la parte superior con el fin de que el compostaje se pueda oxigenar permitiendo el proceso de descomposición. Posteriormente a haber realizado el compostaje, se deben mezclar los componentes añadiendo 6 g de material vegetal seco dejando un intervalo de tiempo entre cada revisión de 6, 7, 9 y 10 días, para finalmente dejar la muestra el tiempo necesario dentro del compostaje según el proceso establecido que se muestra a continuación:

Tabla 3. Tiempos del ensayo de biodegradabilidad

No. Muestras	Tiempo de Compostaje
2	1 semana
2	2 semanas
2	3 semanas
2	6 semanas
2	9 semanas
2	12 semanas

5.2.4 Ensayo de tensión

Finalmente se realizó el ensayo de tensión haciendo uso de la Máquina universal (SHIMADZU Serie AGS-X de capacidad de 10 kN) con el fin de evaluar las propiedades mecánicas a tensión de las películas, para lo cual se cortaron las probetas como se muestra en la ilustración 8 siguiendo la normatividad de películas comestibles dada por la norma ASTM D882. El estudio se realizó a una velocidad de 1 mm/min.

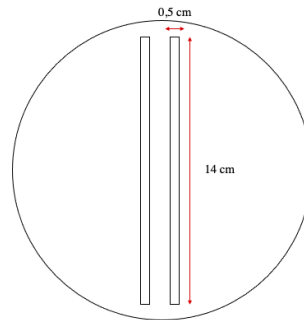


Ilustración 8. Corte de las muestras para el ensayo de tensión

A continuación, se presenta una fotografía del ensayo en la Figura 12.

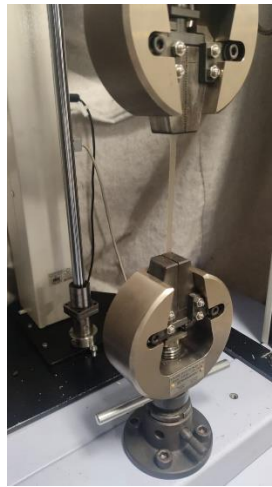


Figura 12. Ensayo de tensión

6. RESULTADOS

6.1 POLVO DE ALMIDÓN

En la ilustración 10 se muestran las imágenes SEM del polvo de almidón, en las que puede verse la morfología de las partículas sacadas después del secado y la conminución con el mortero., Se observa que las partículas tienen morfología tipo ovalada, además de exhibir una distribución en el tamaño de partícula.

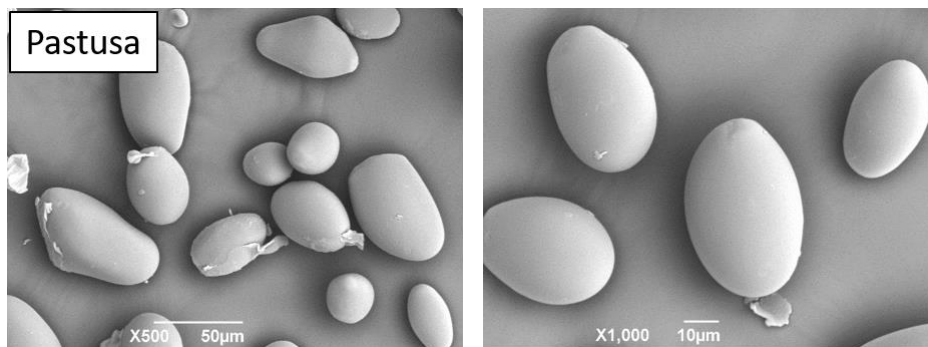


Ilustración 9. Morfología del almidón de papa pastusa

En la ilustración 10 muestra la curva de distribución granulométrica del polvo de almidón de papa. Se observa que la distribución de tamaños de partículas es bastante amplia, variando desde 2 hasta 800 μm . La partícula del almidón tiene un diámetro promedio de 87,57 μm , con un área específica de 0,169 m^2/g .

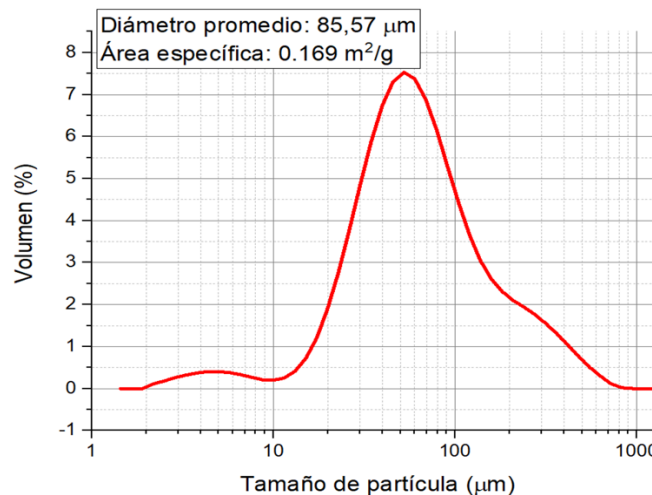


Ilustración 10. Granulometría del almidón de papa pastusa

6.1.1 FTIR – ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER

En la ilustración 11 se muestra el espectro FTIR del almidón de la papa pastusa. La banda localizada a 1369 cm^{-1} se atribuye a la deformación angular del enlace C-H; la banda localizada a 982 cm^{-1} corresponde al enlace C-O de la glucosa y la banda ubicada a 1240 cm^{-1} corresponde al enlace C-O del grupo C-O-H (REF1). La banda localizada a 1159 cm^{-1} corresponde a C-O y a 1082 cm^{-1} corresponde al enlace C-O-C. Por último, la banda localizada a 3500 cm^{-1} corresponde al grupo funcional -OH (REF2 y REF3). Así, el FTIR corrobora la naturaleza del almidón.

REF1: F. Buazar, M. Bavi, F. Kroushawi, M. Halvani, A. Khaledi-Nasab & S.A. Hossieni (2015): Potato extract as reducing agent and stabiliser in a facile green one-step synthesis of ZnO nanoparticles, Journal of Experimental Nanoscience

REF2: Xuan Hoa Vu, Thi Thanh Tra Duong, Thi Thu Ha Pham, Dinh Kha Trinh, Xuan Huong Nguyen, Van-Son Dang, Synthesis and study of silver nanoparticles for antibacterial activity against Escherichia coli and Staphylococcus aureus, Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. 9 (2018) 025019

REF3: A H D Abdullah, S Chalimah, I Primadona, M H G Hanantyo, Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starches, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 160 (2018) 012003

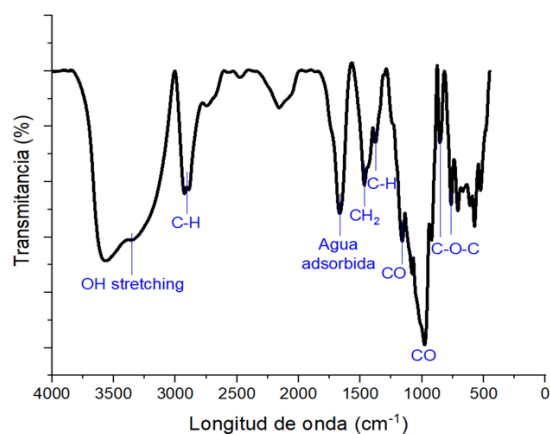


Ilustración 11. FTIR del almidón de papa pastusa

La Ilustración 12 muestra que la banda OH localizada a 3600 cm^{-1} está compuesta de 5 sub-bandas (deconvolución usando aproximación gaussiana). Esto quiere decir que las moléculas de agua están interactuando de 5 formas distintas con las moléculas de almidón. Las primeras 4 sub-bandas se atribuyen a moléculas superficiales de agua absorbidas en el almidón y que rodean las moléculas. La sub-banda localizada a la longitud de onda más alta corresponde a agua en estado vapor, es decir, débilmente enlazada con las moléculas de almidón. Las dos bandas siguientes -que son las más intensas- pueden estar relacionadas con moléculas de agua con coordinación 2 o 3. Estas se identifican como moléculas de agua localizadas

profundamente en el interior de las cadenas poliméricas, actuando como puentes de hidrógeno entre ellas. El componente de la sub-banda ubicada a 3163 cm^{-1} se atribuye a moléculas de agua localizadas cerca de la superficie de la cadena y enlazadas a los grupos polares expuestos de las macromoléculas, es decir, los grupos -OH. Por tanto, la sub-banda localizada a 3085 cm^{-1} corresponde a los grupos hidroxilo de las moléculas.

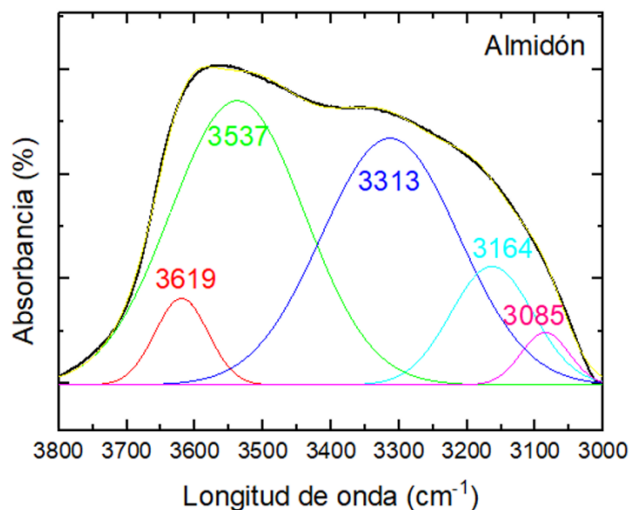


Ilustración 12. Comparación de la primera banda de FTIR

PELÍCULA COMESTIBLE

En la Figura 13 se muestra el resultado de la película comestible realizado en el laboratorio.



Figura 13. Película comestible

6.1.2 FTIR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER DE PELÍCULA COMESTIBLE VS ALMIDÓN

En la siguiente ilustración se observa el espectro FTIR de la película comestible comparada con los del almidón. Se observa la banda a 982 cm^{-1} y 3500 cm^{-1} correspondientes al enlace C-O y O-H, donde se identifica un incremento en el porcentaje de absorción. Además, se identifica que las demás bandas C-H, C-O-H y C-O-C tuvieron un decrecimiento en el

porcentaje de absorbancia. En el espectro se indica que todo el almidón posee un OH, C-H, C-O-C, y grupo funcional C-O.

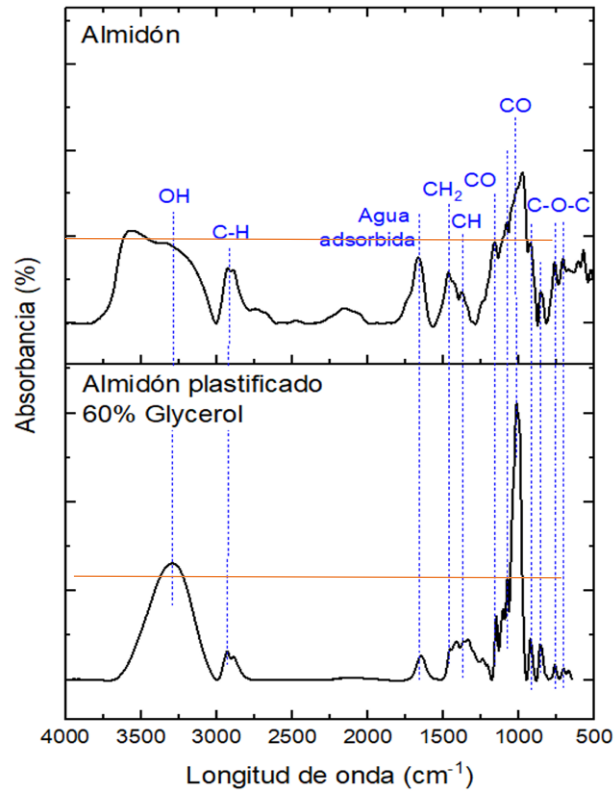


Ilustración 21. Comparación del FTIR del almidón con película comestible

6.1.3 CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO

La Ilustración 13, muestra las temperaturas correspondientes a la transición vítrea T_g 120,13° C, la cristalización T_c 242,48° C, la fusión T_m 325,55° C y la descomposición T_d 498,76° C, con un sistema de procesos exotérmicos.

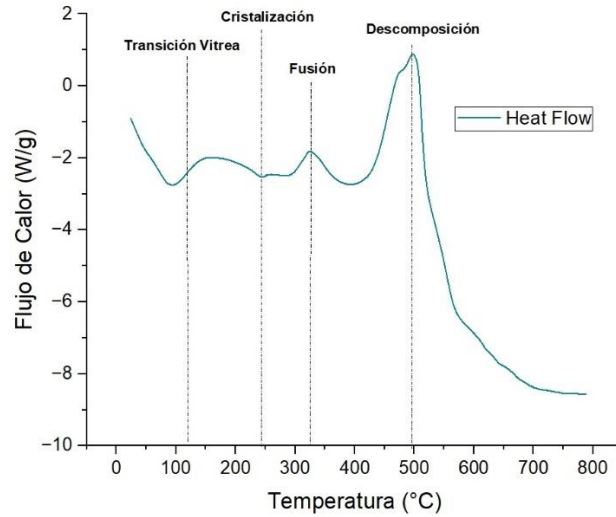


Ilustración 13. Calorimetría Diferencial de Barrido de almidón plastificado de papa pastusa

El proceso en el que se llega al punto de Transición vítrea se observa en la Ilustración 14, donde se identifica el punto de inicio ONSET P_{on} 87,53°C, el punto final ENDSET P_{end} 148,87°C y el punto de inflexión P_{inf} 120,13°C.

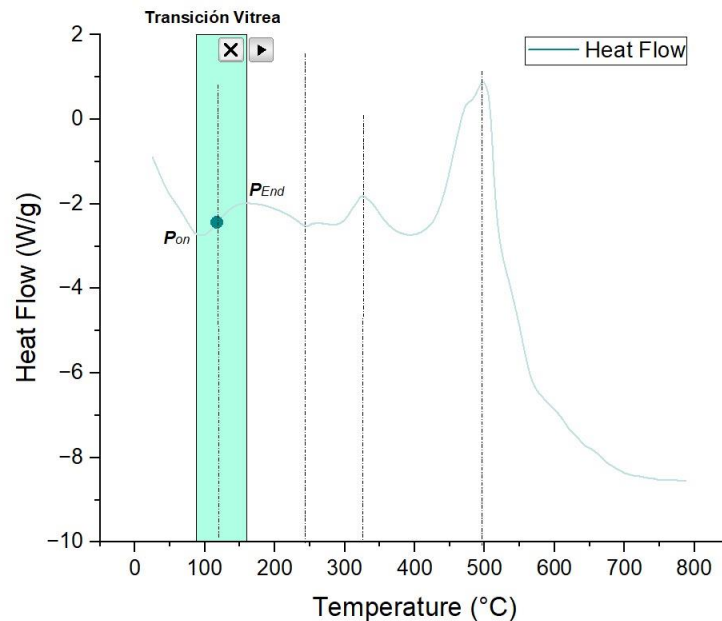


Ilustración 14. Identificación de la Temperatura de Transición Vítrea

El proceso en el que se llega al punto de Fusión se observa en la Ilustración 15, donde se identifica el punto de inicio ONSET P_{on} 289,63°C, el punto final ENDSET P_{end} 369,07°C y el punto de pico P_p 325,55°C como punto que representa la velocidad máxima de fusión en el material.

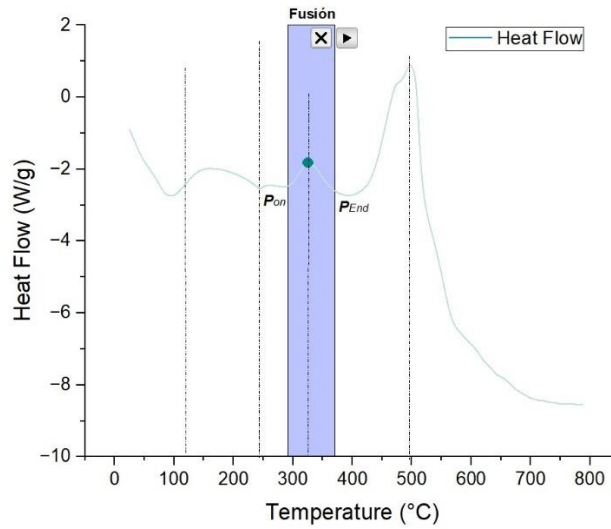


Ilustración 15. Identificación de la Temperatura de Fusión

El proceso en el que se llega al punto de Descomposición se observa en la Ilustración 31, donde se identifica el punto de inicio ONSET de la degradación P_{on} el cual se da a 498,76°C.

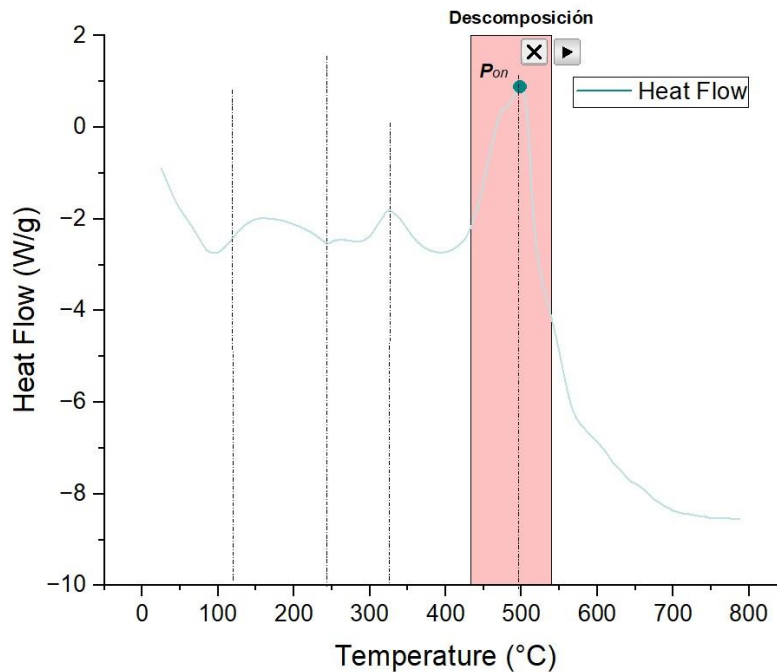


Ilustración 16. Identificación de la Temperatura de Degradación

La Ilustración 17 presenta la primera derivada del DSC en la cual se pueden examinar las transiciones como la transición vítrea la determinación de pérdidas de peso pequeñas, además de observar la historia térmica del material.

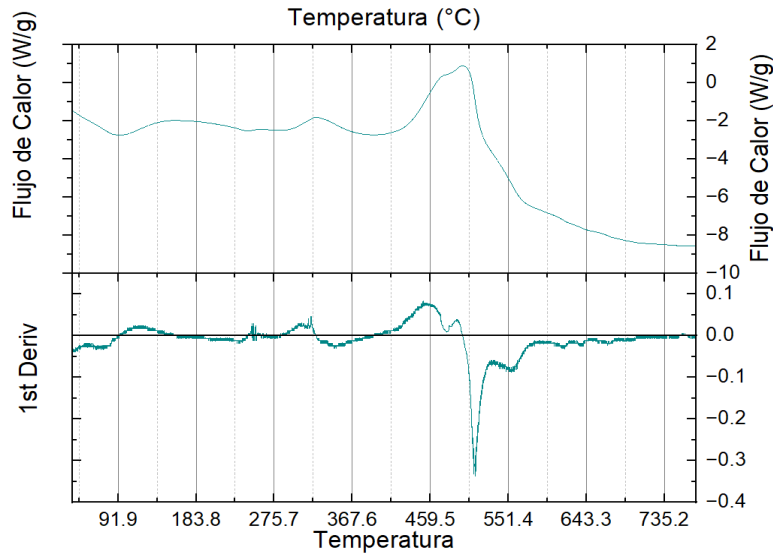


Ilustración 17. Primera derivada de los resultados de Calorimetría Diferencial de Barrido del almidón de papa pastusa

La Ilustración 18 presenta la segunda derivada del DSC en el cual se borra la historia térmica del material.

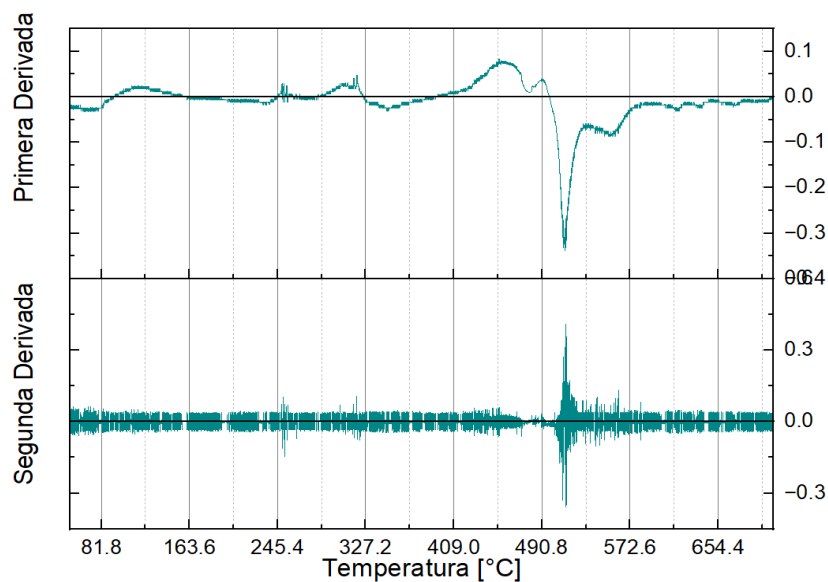


Ilustración 18. Segunda derivada de los resultados de Calorimetría Diferencial de Barrido de almidón de papa pastusa

6.1.4 TERMOGRAVIMETRIA

La Ilustración 19, indica la pérdida de masa de la película de almidón plastificado que fue sometida a un programa de temperatura en una atmosfera controlada. A temperaturas bajas, entre 6 y 230 °C, se presenta la pérdida de agua. Esta caída de peso se debe a la presencia de humedad en la muestra. La caída más acentuada es observada para el plastificante desde los 230 hasta los 315 °C. La caída en peso posterior, que ocurre hasta 549 °C se debe a la descomposición total del material con la degradación del almidón. [5] Posterior a la fase de

descomposición de las muestras, se observa en la gráfica una pendiente que disminuye muy levemente hasta una temperatura de 800 °C.

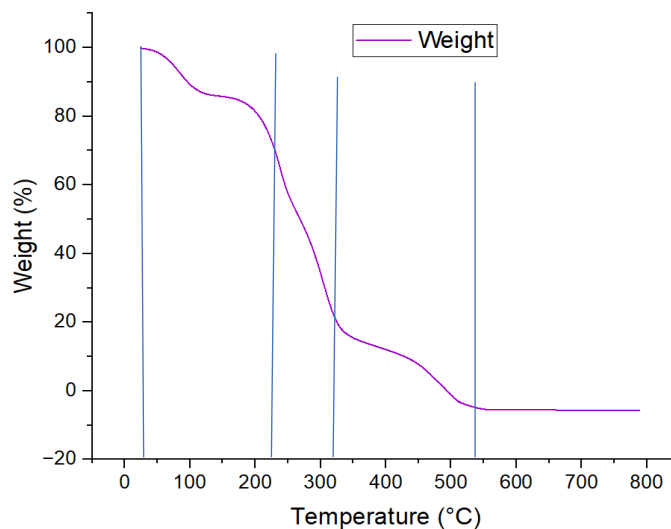


Ilustración 19. Termogravimetría del almidón de papa pastusa

De la anterior gráfica, se obtiene la curva DTG en la Ilustración 20, la cual señala la velocidad de descomposición de la masa en función de la temperatura con la temperatura pico de descomposición, la cual en este caso es de 230° C y 315° C. Temperaturas estas relacionadas con la descomposición del almidón y del plastificante, como se mencionó anteriormente.

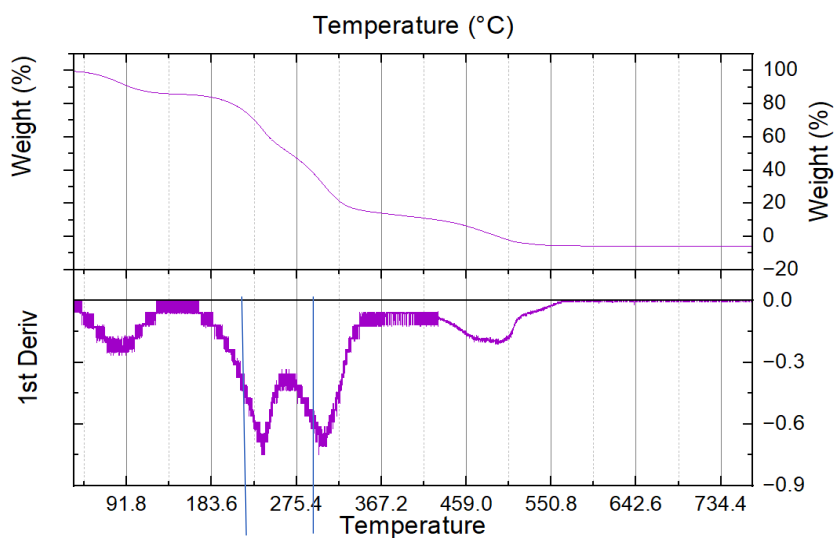


Ilustración 20. Derivada de los resultados de Termogravimetría del almidón de papa pastusa

6.1.5 BIODEGRADABILIDAD

A continuación, se presentan las fotografías de las muestras compostadas según el tiempo que permanecieron dentro del compost como se indica en cada una de ellas.



Figura 14 Muestra de la prueba de biodegradabilidad a la semana 1



Figura 15 Muestra de la prueba de biodegradabilidad a la semana 2



Figura 16 Muestra de la prueba de biodegradabilidad a la semana 3



Figura 17 Muestra de la prueba de biodegradabilidad a la semana 9



Figura 18 Muestra de la prueba de biodegradabilidad a la semana 12

Por medio de la siguiente gráfica se registraron las variables identificadas en el proceso de degradación tales como la masa inicial, la masa final y el tiempo de degradación, con el fin de identificar el porcentaje de descomposición que se degradó en dichas condiciones.

Tabla 4. Resultados del estudio de biodegradabilidad de la película comestible

Muestra No.	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Tiempo de degradación (semanas)	Porcentaje de Descomposición (%)
1	1,52	1,33	1	12,50%
2	2,07	1,77	1	14,49%
3	2,01	1,34	2	33,33%
4	1,51	0,99	2	34,44%
5	1,49	0,91	3	38,93%
6	1,7	0,88	3	48,24%
7	1,4	0,91	6	35,00%
8	1,85	0,97	6	47,57%
9	1,55	0,95	9	38,71%
10	1,69	0,94	9	44,38%
11	1,73	1,2	12	30,64%
12	1,68	0,95	12	43,45%

En la ilustración 23, se observa el comportamiento del material en condiciones de compostaje, lo cual indica que en las 12 semanas analizadas se logró la degradación de un 43,45% del plástico. En la gráfica se identifica que al principio la velocidad de degradación es bastante alta, pero al cabo de 3 semanas la descomposición del material se vuelve constante.

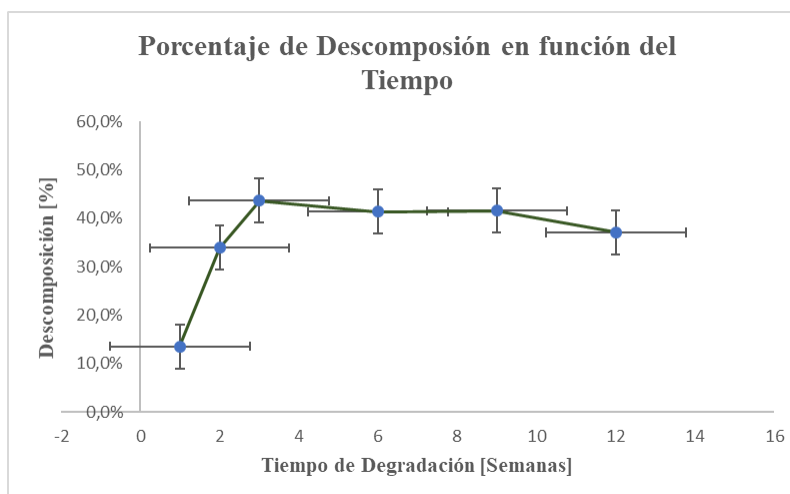


Ilustración 23. Porcentaje de descomposición del bioplástico en función del tiempo de la película comestible

Analizando los resultados del ensayo de biodegradabilidad, se observa que el bioplástico se degrada de forma creciente hasta un 48% de descomposición de la masa, valor en el cual se presenta un estancamiento del proceso de degradación debido a la presencia del plastificante, el cual, por sus características físicas y químicas, es un material muy duradero y difícil de degradar por los microorganismos que se encuentran en la naturaleza.

Se considera que los resultados del ensayo de biodegradabilidad podrían mejorar considerando un rango de tiempo más amplio, considerando que unos de los plásticos biodegradables que se encuentran en la industria se demoran desde meses hasta 6 años, lo cual sigue siendo beneficioso para el planeta en comparación de los plásticos que son usados cotidianamente.

6.1.6 PRUEBA DE TENSION

En el ensayo que se realizó, se obtuvo la gráfica de la ilustración 24 de Esfuerzo vs deformación, donde se observa el comportamiento del material bajo tensión, en el cual se identifica que tiene un límite elástico de 0,87 MPa con una deformación del 47% y un módulo de elasticidad longitudinal de 1.712 MPa, donde no se observa una gran variabilidad con el ensayo anterior.

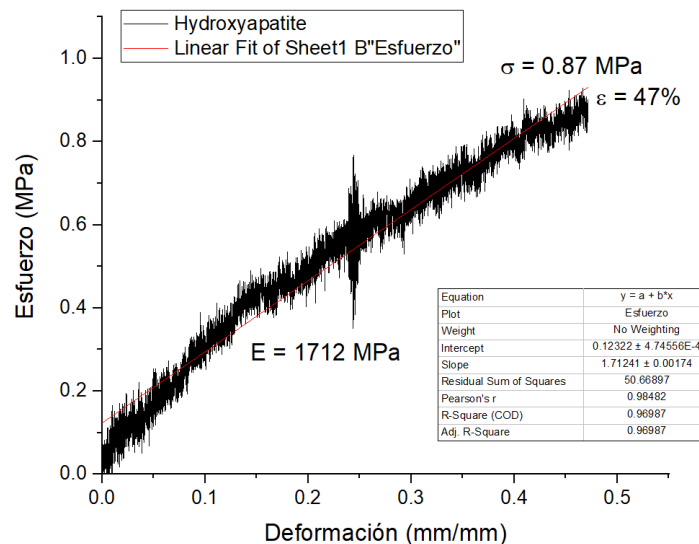


Ilustración 24. Segundo ensayo de tensión – Esfuerzo VS Deformación

De los resultados obtenidos por el ensayo de tensión se identifica que la resistencia a la rotura del material es hasta de 0,87 MPa, el cual es muy bajo en comparación a los plásticos de un solo uso utilizados en la industria, teniendo en cuenta que estos llegan a soportar cargas hasta de 21MPa debido a que están compuestos por una mayor cantidad de glicerol aportando mayor flexibilidad debido a sus propiedades plastificantes. Comparando el resultado de la película producida con otros estudios realizados se obtuvieron mejores propiedades, ya que la Fundación Universidad de América logró un resultado de 0,625 MPa con el mismo procedimiento de casting para una película comestible de almidón de papa [6].

CONCLUSIONES

Según los resultados se concluye que es posible obtener película plastificada a partir de almidón de papa pastusa teniendo en cuenta como parámetros 40 minutos de homogenización, 20 minutos de plastificación a una temperatura de 70°C, y tiempo de secado de 120 horas en la mufla. Del estudio puede concluirse lo siguiente:

Teniendo en cuenta el análisis FTIR realizado para las muestras de almidón extraído se pudo comprobar que se obtuvo almidón, ya que se los resultados presentan picos característicos del mismo según la literatura, mostrando características propias en las cadenas de amilopectina y amilosa.

El rendimiento de extracción de almidón de papa está relacionado con el grado de madurez del tubérculo y tamaño de la papa ya que al extraer el almidón en distintas ocasiones el porcentaje de almidón variaba alrededor de un 2%

La presencia del conservante en la extracción del almidón es determinante para evitar la oxidación de la película comestible, ya que este permite la producción de la misma sin tener pérdidas de material. Al utilizar conservantes dentro del proceso, se observa un cambio en la tonalidad del almidón el cual incrementa según la cantidad utilizada.

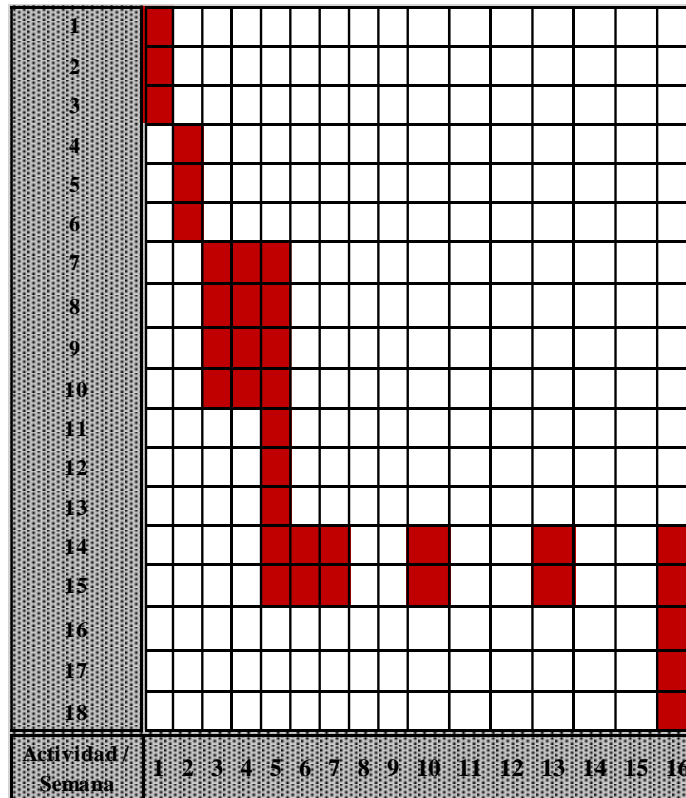
El porcentaje de plastificante utilizado y la metodología usada al introducir las muestras en el ambiente de compostaje, son determinantes para los buenos resultados en el ensayo de biodegradabilidad.

Según los resultados obtenidos del análisis termogravimétrico y de calorimetría diferencial de barrido se define que las temperaturas a las cuales se puede trabajar el material bioplástico es hasta de 287,5°C sin que el material se funda, y hasta de 412,08°C para que el plástico no se descomponga.

La prueba del ensayo de tensión, permite deducir que la película producida tiene como propiedades un límite elástico de 0,81 MPa y un módulo de elasticidad longitudinal de 1.723 MPa, permitiendo una deformación hasta del 47%.

CRONOGRAMA

Por medio del siguiente grafico se muestra el tiempo que tomó el desarrollo de cada etapa de este trabajo de investigación según las actividades indicadas.



Actividades:

1. Preparación de la papa.
2. Molienda húmeda.
3. Sedimentación del almidón.
4. Filtración.
5. Secado.
6. Molienda.
7. Disolver el almidón en agua a alta temperatura.
8. Añadir plastificante.
9. Vaciado en platos de Petri.
10. Secado.
11. Cortar doce muestras.
12. Pesar las muestras.
13. Agregar cada muestra al compostaje.
14. Retirar la muestra del compostaje pasado el tiempo necesario.
15. Pesar la muestra y registrar datos.
16. Cortar 4 probetas.
17. Realizar el ensayo según la norma ASTM D882.
18. Registrar datos obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Álzate Carvajal, E. N., Dumar Quintero Castaño, V., Carlos, J., Aguirre, L., & Humboldt, A. V. (s/f). *DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPOSICIONALES DE LA HARINA Y ALMIDÓN DE CHACHAFRUTO (Erytina Edulis Triana Ex Micheli) DETERMINATION OF COMPOSITIONAL AND THERMAL PROPERTIES OF FLOUR AND STARCH OF CHACHAFRUTO (Erytina Edulis Triana Ex Micheli)*. Unirioja.es. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5002411.pdf>
- [2] REF1: F. Buazar, M. Bavi, F. Kroushawi, M. Halvani, A. Khaledi-Nasab & S.A. Hossieni (2015): Potato extract as reducing agent and stabiliser in a facile green one-step synthesis of ZnO nanoparticles, *Journal of Experimental Nanoscience*
- [3] REF2: Xuan Hoa Vu, Thi Thanh Tra Duong, Thi Thu Ha Pham, Dinh Kha Trinh, Xuan Huong Nguyen, Van-Son Dang, Synthesis and study of silver nanoparticles for antibacterial activity against Escherichia coli and Staphylococcus aureus, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 9 (2018) 025019
- [4] REF3: A H D Abdullah, S Chalimah, I Primadona, M H G Hanantyo, Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starchs, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 160 (2018) 012003

-
- [5] Sánchez Aldana, D., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillón, G. V., & Aguilar, C. N. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CyTA - Journal of Food*, 13(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>
- [6] Cardona, J. S. H. (s/f). OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA. Edu.co. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Celulosa*. (s/f). Concepto. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <https://concepto.de/celulosa/>
- Distribuidor de bioplásticos*. (2022, julio 5). NATUREPLAST. <https://natureplast.eu/es/distribuidor-de-bioplasticos/>
- El ensayo de biodegradabilidad. Qué es y cómo se consigue*. (2022, abril 25). UNIKA GM. <https://www.unikagm.com/ensayo-de-biodegradabilidad/>
- Gonzales, B. (2019, octubre 9). *Tipos de plásticos biodegradables en el mundo del embalaje*. RAJA® Blog | Consejos de embalaje, logística y más; RAJA ES. <https://www.rajapack.es/blog-es/tipos-plasticos-biodegradables/>
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300031>
-

León-Leyva, A. P., Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Calderón-Castro, A., Fitch-Vargas, P. R., Jacobo-Valenzuela, N., Sánchez-Chilero, M. A., & Aguilar-Palazuelos, E. (s/f). *Desarrollo y Caracterización de Películas Comestibles Elaboradas a Partir de Almidón Acetilado por Extrusión y Gelatina*. Uanl.mx. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/117.pdf>

PRACTICA # 2 ENSAYOS A TENSIÓN. (s/f). Edu.mx. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <https://www.itescam.edu.mx/principal/docentes/formatos/7ae1b8cd81c7547ddcd50c63b8f857a6.pdf>

Profesional, R. (2021, julio 26). *¿Un plástico ecológico a partir de celulosa y agua?* Residuos Profesional. <https://www.residuosprofesional.com/plastico-ecologico-celulosa-agua/>

¿Qué es la contaminación ambiental? (2020, marzo 4). Fundación Aequae. <https://www.fundacionaequae.org/wiki/causas-contaminacion->

Stea, M. (2019, septiembre 2). *Ácido poliláctico: estructura, propiedades, síntesis, usos*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/acido-polilactico/>

Tipos de plásticos – CAIP. (s/f). Org.ar. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <https://www.caip.org.ar/tipos-de-plasticos/>

Wikipedia contributors. (s/f). *Polihidroxialcanoato*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.

<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Polihidroxicarbonato&oldid=147112944>

(S/f-a). Gob.es. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%20o11%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf

(S/f-b). Gob.mx. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf

(S/f-c). Org.ar. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <https://ecoplas.org.ar/2016/wp-content/uploads/2020/06/Publicacion-54-Plasticos-Biodegradables.pdf>

(S/f-d). Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de <http://file:///Users/anamile/Downloads/Dialnet-PolihidroxicarbonatosPHAsProducidosPorBacteriasYSu-5290930.pdf>

(S/f-e). Upv.es. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/fcm2_2.html

https://oa.upm.es/57105/1/TFG_MARINA_RODRIGUEZ_CARREIRO.pdf