

EVALUACIÓN DE PELÍCULAS POLIMÉRICAS BASADAS EN ALMIDON DE  
MAÍZ, ÁCIDO POLILÁCTICO Y POLIVINIL ALCOHOL COMO ALTERNATIVA  
PARA LA SUSTITUCIÓN DE POLIMEROS CONVENCIONALES A NIVEL  
LABORATORIO

ALEJANDRO JOSE GARCES VARGAS  
YEIMY TATIANA HERNÁNDEZ ALBA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

EVALUACIÓN DE PELÍCULAS POLIMÉRICAS BASADAS EN ALMIDON DE  
MAÍZ, ÁCIDO POLILÁCTICO Y POLIVINIL ALCOHOL COMO ALTERNATIVA  
PARA LA SUSTITUCIÓN DE POLIMEROS CONVENCIONALES A NIVEL  
LABORATORIO

ALEJANDRO JOSE GARCES VARGAS  
YEIMY TATIANA HERNÁNDEZ ALBA

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
Marta Cecilia Acosta.  
Ingeniero Químico.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

Nota De Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Ingeniero Orlando Castiblanco Urrego

---

Ingeniero Dany Jose Cardenas Romay

Bogotá, D.C. Enero, 2020

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de Universidad y Rector del Claustro.

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados.(E)

**Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN**

Secretaria General.

**Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN**

Decano de la Facultad de Ingenierías.

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería Química.

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a todas las personas importantes en mi vida empezando por mi madre Everlidis Vargas la cual ha estado conmigo en los tiempos buenos y malos, ayudándome a ser la persona que soy y apoyándome en todo momento para poder lograr mis sueños.*

*A mi hermano Andres Felipe Garces Vargas porque me ha apoyado en todo momento y gracias a él me he convertido en una excelente persona para poder ser el mejor ejemplo para él y poder apoyarlo en sus sueños futuros.*

*A mis amigos John Antony Pabon Beltran, Brayan Sebastian Mancera Henandez y Mariana Getiva Rojas los cuales me han apoyado desde el colegio hasta hoy y aunque no nos veamos frecuentemente siempre serán mis amigos y contaran con todo mi apoyo para que ellos también puedan cumplir sus sueños así como ellos también me apoyan a mí.*

*Y por último a Daniel Leonardo Robelto Bayona por ser la única persona a la cual puede llamar amigo a lo largo de mi estadía en la universidad y por hacer mi tiempo en la universidad más divertido y espero siempre contar con él porque el siempre contara conmigo.*

Alejandro Jose Garces Vargas

## DEDICATORIA

*“No importa cuántas veces tropieces y te caigas, lo importante es cómo y qué tan fuerte te levantas”.*

*A mi padre Ernesto Hernández porque a pesar de las adversidades creyó y confió en mí en todo momento, porque con su esfuerzo y dedicación he logrado llegar hasta donde estoy.*

*A mi madre Lida Alba porque con su comprensión, amor y apoyo incondicional seguí adelante cuando creí que ya no podría más, porque cada día me enseña, me guía y me aconseja con paciencia, porque es mi ejemplo a seguir y siempre está para mí.*

*A mi hijo Juan Pablo Betancourt porque es el motor que mueve mi vida, porque cada día me da fuerza, energía y felicidad, porque por él me convertí en gran parte en la mujer que soy hoy*

*A mis abuelos maternos Hernando Alba y Nieves Fúquene, que me cuidaron y enseñaron cuando mis padres no podían porque gran parte de la persona que soy se los debo a ellos, porque cuidaron de mí y de mi hijo con todo su amor y cariño.*

*A mis hermanas Daisy Hernández y Natalia Hernández que estuvieron y están conmigo en los momentos más difíciles, porque a pesar de las peleas y problemas siempre puedo contar con ellas.*

*A Juan David Betancourt porque a pesar de todo me ha dado su apoyo incondicional, porque por él aprendí a ver la vida de una forma diferente.*

*A mis amigas Lucía Escobar y Carolina Pérez que me ayudaron cuando lo necesité, por cada uno de los momentos que me brindaron e hicieron que este proceso fuera mejor y más confortante.*

*Y finalmente a mis mejores amigas Geraldine Vargas y Carol Ruiz, porque gracias a ellas nunca me he sentido sola, porque más que mis amigas son mis hermanas, porque no importa el tiempo que pase siempre están en los momentos más importantes de mi vida felices o tristes.*

Yeimy Tatiana Hernández Alba

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos:

- A Tecnoparque Sena Bogotá y a todo el personal de por la oportunidad de trabajar en este proyecto, su colaboración, el préstamo de las aulas e insumos y disposición de ayuda con el proyecto de grado.
- A Juan Carlos Avila y Marta Cecilia Acosta por su dedicación, colaboración y ayuda en la elaboración de todo el proyecto
- A Jose Luis Salazar Lopez y a los demás miembros de trabajo de grado por sus enseñanzas, acompañamiento y su apoyo en el desarrollo del documento.
- A todas las personas que siempre nos brindaron sus palabras de ánimo y dieron sus buenos deseos para continuar y finalizar este proyecto de grado.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	21
1. MARCO TEÓRICO	22
1.1 POLÍMERO	22
1.1.1 Mezclas poliméricas	23
1.2 PLÁSTICO	25
1.2.1 Bioplástico	25
1.3 ALMIDÓN	27
1.3.1 Gelatinización	29
1.4 ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)	29
1.5 CELULOSA	31
1.6 POLIHIDROXIALCANOATOS (PHA)	33
1.7 ALCOHOL DE POLIVINILO	35
1.8 APÓSITO	36
1.9 Clasificación de un apósito	36
1.9.1 Apósitos pasivos	37
1.9.2 Apósitos interactivos	37
1.9.3 Apósitos bioactivos	38
1.9.4 Apósitos de plata	39
1.10 BIODEGRADACIÓN	39
1.11 ESTERILIZACIÓN	40
1.11.1 Pasteurización	41
1.11.2 Ebullición	41
1.11.3 Autoclavado	42
2. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN	43
2.1 GELATINIZACIÓN Y RETROGRADACIÓN	43
2.1.1 Procedimiento	45
2.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
3. PARÁMETROS DE LAS MEZCLAS	51
3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL	52
3.1.1 Variables independientes	52
3.1.2 Variables fijas	53
3.1.3 Factores perturbadores	53
3.1.4 Variables respuesta	54
3.1.5 Modelo experimental y número de tratamientos	54
3.2 PROCEDIMIENTO	56

3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
3.4 PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS POLIMÉRICAS: ALMIDÓN/ALCOHOL POLIVINÍLICO (PVOH) Y ALMIDÓN/ÁCIDO POLILÁCTICO	58
4. ELABORACIÓN DE PELÍCULAS ALMIDÓN-ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA) Y ALMIDÓN-ALCOHOL POLIVINÍLICO	63
4.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL	63
4.1.1 Procedimiento para la elaboración de las películas	63
4.2 ELABORACIÓN DE PELÍCULAS ALMIDÓN- ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)	64
4.2.1 Resultados y análisis de resultados	66
4.3 ELABORACIÓN DE PELÍCULAS ALMIDÓN-ALCOHOL POLIVINÍLICO (PVOH)	68
4.3.1 Pruebas de esterilización	69
4.3.2 Resultados y análisis de resultados	70
5. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LAS BIOPELÍCULAS	75
5.1. PROPIEDADES DE BARRERA	75
5.1.1 Permeabilidad al vapor de agua	76
5.1.2 Permeabilidad al agua	81
5.1.3 Densidad	84
5.1.4 Absorción de agua	85
5.1.5 Resistencia a la degradación	86
5.2 Biodegradación	89
6. CONCLUSIONES	92
7. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFIA	94
ANEXOS	101

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Cálculos Para determinar la cantidad de cada uno de los componentes de la mezcla	102
<b>Anexo B.</b> Tablas de porcentaje, masa y volumen de los componentes para cada una de las mezclas	104
<b>Anexo C.</b> Tablas, graficas y calculos correspondientes a la evaluacion de la permeabilidad al vapor de agua de las peliculas con composicion de 70% PVOH	116
<b>Anexo D.</b> Tablas, graficas y calculos correspondientes a la evaluacion de la permeabilidad al vapor de agua de las peliculas con composicion de 80% PVOH	118
<b>Anexo E.</b> Tablas, graficas y calculos correspondientes a la evaluacion de la permeabilidad al vapor de agua de las peliculas con composicion de 90% PVOH	121
<b>Anexo F.</b> Tablas, graficas y calculos correspondientes a la evaluacion de la permeabilidad al vapor de agua de las peliculas con composicion de 100% PVOH	123
<b>Anexo G.</b> Calculos para la evaluacion de la permeabilidad el agua, la densidad y la adsorcion de agua de las peliculas con composicion de 100% PVOH	125
<b>Anexo H.</b> Ficha tecnica de la pelicula producida a partir de Almidon/PVOH	126
<b>Anexo I.</b> Fichas de seguridas de las sustancias usadas para la elaboracion de las peliculas polimericas	127

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Red conceptual de los polímeros	23
<b>Figura 2.</b> Mezcla de polímeros inmiscibles	25
<b>Figura 3.</b> Capacidad de producción global de bioplásticos en 2017	26
<b>Figura 4.</b> Estructura de la amilosa	28
<b>Figura 5.</b> Estructura de la amilopectina	28
<b>Figura 6.</b> Rutas de polimerización al ácido poliláctico	30
<b>Figura 7.</b> Mecanismo de crecimiento de la cadena polimérica láctida a PLA	31
<b>Figura 8.</b> Estructura de la celulosa	32
<b>Figura 9.</b> Esquema del gránulo de PHA acumulado intracelularmente	34
<b>Figura 10.</b> Partes de un apósito	36
<b>Figura 11.</b> Proceso de gelificación del almidón	45
<b>Figura 12.</b> .Diagrama de proceso para la temperatura de gelificación	46
<b>Figura 13.</b> Muestra viscosidad T= 60°	47
<b>Figura 14.</b> Muestra viscosidad T= 70°	47
<b>Figura 15.</b> Muestra viscosidad T= 80°	48
<b>Figura 16.</b> Muestra viscosidad T= 90°	48
<b>Figura 17.</b> Curva teórica de viscosidad Brabender de un almidón de maíz	50
<b>Figura 18.</b> .Mezcla 70%agua,15 almidón y 15% glicerina	58
<b>Figura 19.</b> Mezcla 70%agua,5 almidón y 25% glicerina	58
<b>Figura 20.</b> Película de almidón 70% agua, 5% almidón y 25% glicerina	58
<b>Figura 21.</b> Diagrama de proceso para la elaboración de mezclas poliméricas	64
<b>Figura 22.</b> Película de Almidón/PLA usando como solvente acetona	67
<b>Figura 23.</b> Película con 9% de PVOH	70
<b>Figura 24.</b> Película con 17% de PVOH	70
<b>Figura 25.</b> Película con 23% de PVOH	70
<b>Figura 26.</b> Película con 28% de PVOH	70
<b>Figura 27.</b> Película con 33% de PVOH	70
<b>Figura 28.</b> Película con 37% de PVOH	70
<b>Figura 29.</b> Película con 41% de PVOH	71
<b>Figura 30.</b> Película con 44% de PVOH	70
<b>Figura 31.</b> Película con 47% de PVOH	71
<b>Figura 32.</b> Película con 50% de PVOH	70
<b>Figura 33.</b> Película con 70%, 80%, 90% y 100% de PVOH antes del proceso de esterilización	73
<b>Figura 34.</b> Película con 70%, 80%, 90% y 100% de PVOH después del proceso de esterilización	73
<b>Figura 35.</b> Película con 100% de PVOH después del proceso de esterilización por segunda vez	73
<b>Figura 36.</b> Diagrama de proceso Permeabilidad al vapor de agua	77
<b>Figura 37.</b> Grafica de Masa de agua versus Tiempo	78
<b>Figura 38.</b> Películas de 70%, 80% y 90% listas para medir la permeabilidad al vapor de agua	80
<b>Figura 39.</b> Películas de 70%, 80% y 90% en el desecador	80

<b>Figura 40.</b> Diagrama de proceso Permeabilidad al agua	82
<b>Figura 41.</b> Película sometida al ácido fuerte	88
<b>Figura 42.</b> Película sometida a la base fuerte	88
<b>Figura 43.</b> Película sometida a la base y el ácido débil	88
<b>Figura 44.</b> Película de Almidón/PVOH expuesta a microorganismos	91

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Valor de la viscosidad a diferentes temperaturas relación 1:15 m/v de almidón-agua	47
<b>Tabla 2.</b> Características del almidón de maíz	49
<b>Tabla 3.</b> Factores y dominios experimentales	54
<b>Tabla 4.</b> Combinaciones posibles para las mezclas	55
<b>Tabla 5.</b> Continuación combinaciones posibles para las mezclas	55
<b>Tabla 6.</b> Número de tratamientos totales para la elaboración de películas	56
<b>Tabla 7.</b> Resultados películas de almidón	57
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje de los componentes p/p añadidos con respecto al almidón	61
<b>Tabla 9.</b> Porcentajes p/p de todos los componentes.	62
<b>Tabla 10.</b> Parámetros para la obtención de películas	62
<b>Tabla 11.</b> Comparativo de las propiedades mecánicas del PLA frente a otros polímeros de uso industrial.	66
<b>Tabla 12.</b> Propiedades mecánicas de PVOH	69
<b>Tabla 13.</b> Resultados de la Prueba de Esterilización	72
<b>Tabla 14.</b> Permeabilidad de diversos polímeros	76
<b>Tabla 15.</b> Datos de Tiempo y Masa de agua película de 100% de PVOH	78
<b>Tabla 16.</b> Velocidad de transición del vapor de agua y Permeabilidad al vapor de agua	80
<b>Tabla 17.</b> Resultados de la Permeabilidad al vapor de agua	80
<b>Tabla 18.</b> Datos necesarios para el cálculo de la permeabilidad al agua	83
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la Permeabilidad al agua	83
<b>Tabla 20.</b> Resultados de la densidad	84
<b>Tabla 21.</b> Densidad de diferentes polímeros	85
<b>Tabla 22.</b> Resultados de la Absorción de agua	86
<b>Tabla 23.</b> Efectos de agentes químicos sobre algunos polímeros comunes	87
<b>Tabla 24.</b> Resultado prueba de resistencia a la degradación	87
<b>Tabla 25.</b> Comparación entre biopolímeros y polímeros convencionales	91

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Calculo de las masa de las sustancias que componen la mezcla	pág. 61
<b>Ecuación 2.</b> Calculo de la Permeabilidad al vapor de agua	77
<b>Ecuación 3.</b> Calculo de la Permeabilidad al agua	82
<b>Ecuación 4.</b> Calculo del porcentaje de agua adsorbida	86

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Lista de los componentes de la mezcla.	60
<b>Cuadro 2.</b> Datos necesarios para el cálculo de la permeabilidad al vapor de agua	79

## LISTA DE SÍMBOLOS

“En el proyecto se utilizó el sistema internacional”  
“,” para decimales y “.” para miles

Símbolo	Definición [Unidad]
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
g	Gramos
kg	Kilogramos
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
ml	Mililitros
Pa	Pascales
PHAs	Polialcanoatos
PLA	Ácido poliláctico
PVOH	Alcohol polivinílico
s	Segundos
TPS	Almidón termoplástico

## RESUMEN

El presente proyecto de grado busca evaluar las propiedades de biopolímeros a partir de mezclas poliméricas de almidón de maíz, ácido poliláctico y alcohol polivinílico que puedan sustituir a los polímeros convencionales usados en la elaboración de un producto médico (capa externa del apósito) para el centro de investigación de nanotecnología y biotecnología de Tecnoparque ya que este desea elaborar un producto 100% biodegradable.

Para lograr este propósito se realizaron una serie de pruebas con el fin de establecer los parámetros necesarios para la obtención de las mezclas y las películas poliméricas que posteriormente fueron sometidas a un proceso de esterilización por calor húmedo para determinar si la temperatura y el tiempo en el que se realiza este proceso podría producir algún efecto de degradación térmica en las películas poliméricas, al realizar esta prueba se pudo determinar que sólo dos mezclas (90% de PVOH y 100% de PVOH con respecto al almidón) cumplían con dicha características.

Finalmente estas dos mezclas se sometieron a la prueba de permeabilidad al vapor de agua, favoreciendo así a la mezcla que contiene 100% PVOH con respecto al almidón, la cual fue caracterizada midiendo su permeabilidad al agua, densidad, adsorción de agua, resistencia a la degradación y biodegradabilidad

**PALABRAS CLAVE:** apósito, biopolímero, esterilización, biodegradabilidad.

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales muy populares porque son económicos, livianos, resistentes a la oxidación, inalterables a los agentes atmosféricos, versátiles, aislantes de la corriente eléctrica y pueden sustituir la madera, la piedra o el metal. Esto hace que el consumo mundial de plásticos sea cada vez mayor pero sus propiedades y su alta resistencia a la descomposición los convierte en unos residuos difíciles de eliminar convirtiéndose en un problema ambiental.

Por esto se ha adquirido un gran interés en los denominados bioplásticos debido a que se obtienen de fuentes renovables, son biodegradables, biocompatibles, y además, pueden presentar características similares a los plásticos convencionales como la adsorción de agua, la resistencia mecánica, la permeabilidad a los gases y vapor de agua.

Existen distintos tipos de bioplásticos como polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos a partir de microorganismos que los hace útiles en un amplio rango de aplicaciones, pudiendo ser utilizados en campos muy diversos como medicina, farmacia, o la industria agroalimentaria, entre otras<sup>1</sup>.

Actualmente los productos que son amigables con el ambiente son muy apreciados por los consumidores conscientes de los problemas ambientales que enfrentamos, esto hace que proyectos de investigación orientados al desarrollo estos productos como la elaboración de un apósito a partir productos naturales por parte de la línea de biotecnología y nanotecnología de TecnoParque son pasos que debe darse en nuestro país para darle más importancia al desarrollo y la investigación de este tipo de productos.

Países como Estados Unidos, Canadá, Japón y la Unión Europea actualmente son líderes en la investigación, desarrollo y producción de biopolímeros y productos elaborados a partir de estos, y otros países como Australia, Brasil, Corea y China se suman.

---

<sup>1</sup> REDDY Laxmana, REDDY Sanjeevani y GUPTA Anusha. Study of Bio-plastics As Green & Sustainable Alternative to Plastics. Department of Chemical Engineering, CBIT, Andhra Pradesh, India. 2014. En International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering

La capacidad de producción de bioplásticos se incrementa año tras año aun así siguen existiendo retos que afrontar lo cual brinda la un gran campo de acción en el cual se puedan desarrollar nuevas investigaciones para la producción de conocimiento y tecnología en el país<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> NAVA Diana, VILLADA Samuel. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN EN EMPAQUES BIODEGRADABLES EN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN.2013. En Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. Popayán-Colombia

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar películas poliméricas basadas en almidón de maíz, ácido poliláctico y polivinil alcohol como alternativa para la sustitución de polímeros convencionales a nivel laboratorio.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros para la elaboración y la caracterización de mezcla poliméricas de los polímeros.
- Obtener películas bioplásticos a nivel laboratorio con los parámetros para mezclas poliméricas.
- Evaluar las características de las películas poliméricas con respecto a polímeros convencionales.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 POLÍMERO

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes, estas moléculas que se combinan para formar los polímeros se denominan monómeros, estos están formados, fundamentalmente, por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos. Los monómeros reaccionan entre sí en lo que se denomina reacciones de polimerización, la polimerización se produce en un reactor que contienen los monómeros y demás reactivos o catalizadores necesarios para producir largas cadenas<sup>3</sup>.

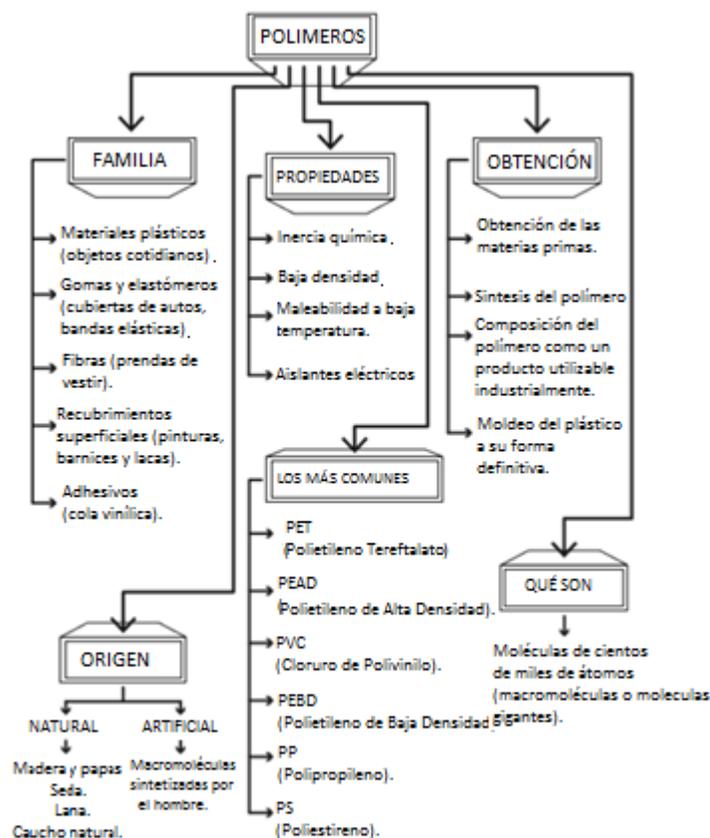
Según su origen los polímeros pueden ser naturales o sintéticos (Figura 1), los polímeros naturales son sustancias producidas por organismos vivos que se emplean sin modificación. Ejemplos de estos polímeros son: proteínas, polisacáridos, caucho natural. Los polímeros sintéticos son macromoléculas creados por el hombre y se dividen en dos categorías según su comportamiento al ser calentados: termoplásticos y termorrígidos. Los primeros termoplásticos al calentarse se ablandan o funden, y son solubles en disolventes adecuados. Están formados por moléculas de cadenas largas, a menudo sin ramificaciones. Los termorrígidos, en cambio, se descomponen al ser calentados y no pueden fundirse ni solubilizarse. Tienen estructuras elaboradas tridimensionales con reticulación.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup>HERMIDA. Elida Polímeros Guía didáctica, Capítulo 9, 2011 Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.

<sup>4</sup>IBRAHIM Khan, MUHAMMAD Manshaand MOHAMMAD Abu JafarMazumder.PolymerBlends. ChemistryDepartment, King FahdUniversity of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. M. A. JafarMazumder et al. (eds.), FunctionalPolymers, Polymers and PolymericComposites (2018). A Reference Series. [Consultado el MAY 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2\\_16-](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2_16-) .

**Figura 1.** Red conceptual de los polímeros



Fuente: HERMIDA. Elida Polímeros Guía didáctica, Capítulo 9, 2011 Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.

**1.1.1 Mezclas poliméricas.** Hace tiempo atrás, nació la idea de tomar dos polímeros y combinarlos, con el objeto de obtener un material con propiedades intermedias entre las de los polímeros por separado, los materiales constituidos por dos polímeros que se combinan se denominan mezclas. Es muy usual que dos polímeros no se combinen entre sí, sólo unos pocos pares de polímeros se mezclan, pero también existen pares de polímeros que a veces se mezclan y a veces no.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> CHACON J. protección contra la corrosión del acero inoxidable 304 a base de recubrimiento de poli(3-octiltiofeno).2010. En Centro de investigación en materiales avanzados, S.C. posgrado. Pag 10.

Las variables que uno puede controlar para hacer que se mezclen o no, son generalmente la temperatura y la composición. Muchos pares de polímeros son únicamente miscibles cuando hay mucha mayor cantidad de un polímero que del otro. Habrá un rango de composiciones para el cual los dos polímeros no se mezclarán.<sup>6</sup>

Se llama morfología de una mezcla a la forma constituida por las dos fases y al arreglo de las fases. Lo mejor que uno puede hacer para afectar la morfología de una mezcla inmiscible, es controlar las cantidades relativas de los dos polímeros que se están empleando. En la Figura 2 se puede observar cómo aumentar la cantidad del polímero b cambia la morfología de la mezcla, pasando por una mezcla de dos fases, luego una a mezcla de una fase y al final una mezcla de dos fases nuevamente<sup>7</sup>.

Una propiedad inusual de las mezclas inmiscibles es que una constituida por dos polímeros amorfos posee dos temperaturas de transición vítrea o Tg. Puesto que los dos componentes se encuentran en fases separadas, conservan sus Tg separadas. De hecho, los científicos a menudo miden las Tg de una mezcla, para saber si ésta es miscible o inmiscible. Si obtienen dos Tg entonces la mezcla es inmiscible. Si se observa una sola Tg entonces la mezcla es probablemente miscible<sup>8</sup>.

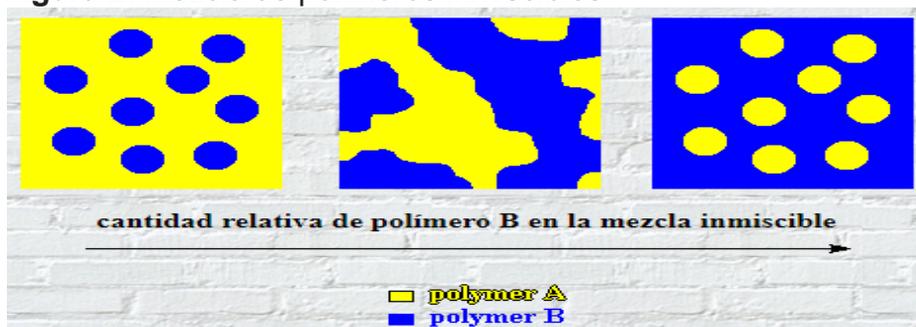
---

<sup>6</sup> CHACON J. Protección contra la corrosión del acero inoxidable 304 a base de recubrimiento de poli(3-octiltiofeno).2010. En Centro de investigación en materiales avanzados, S.C. posgrado. Pag 10.

<sup>7</sup> FAYT, R., HADJIANDREOU, P. y TEYSSIE, P., J. POLYM. 1985 Sci. Polym. Chem Ed., 23 , 337 Polymer science learning center. [Consultado el MAY 23,2019]. Archivo PDF Copyrigh 2003-2019. Disponible en: <https://www.pslc.ws/macrog/iblend.htm>

<sup>8</sup> KHAN I.et.al (2018). PolymerBlends. ChemistryDepartment, King FahdUniversity of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. M. A. JafarMazumder et al. (eds.), FunctionalPolymers, Polymers and PolymericComposites: A Reference Series. [Consultado el MAY 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2\\_16-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2_16-1)

**Figura 2.** Mezcla de polímeros inmiscibles



Fuente: FAYT, R., HADJIANDREOU, P. y TEYSSIE, P., J. POLYM. 1985 Sci. Polym. Chem Ed., 23, 337 Polymer science learning center. [Consultado el MAY 23, 2019]. Archivo PDF Copyrigh 2003-2019. Disponible en: <https://www.pslc.ws/macrog/iblend.htm>

## 1.2 PLÁSTICO

El plástico es todo aquel material o producto hecho a base de polímeros orgánicos, elaborados por modificación química de sustancias sintéticas o naturales; estos tienen la propiedad de ser maleables y por tanto pueden ser moldeados en diferentes objetos. Los plásticos son polímeros de alto peso molecular de moléculas orgánicas, usualmente se sintetizan a partir de derivados petroquímicos, sin embargo, también existen, en menor medida, plásticos derivados de fuentes renovables<sup>9</sup>.

Su nombre deriva de plasticidad, una propiedad de los materiales, que se refiere a la capacidad de deformarse sin llegar a romperse. Los plásticos derivados de petroquímicos son de fácil fabricación y sus costos son muy bajos, por ello, sus aplicaciones son múltiples y en diversas escalas.<sup>10</sup>

**1.2.1 Bioplástico.** Los bioplásticos son un tipo de plásticos biodegradables obtenidos a partir de materias primas orgánicas, llegando a ser biodegradables por microorganismos como bacterias, hongos, algas, entre otros<sup>11</sup>. Son completamente degradados a agua y dióxido de carbono en condiciones aeróbicas

<sup>9</sup> GOMEZ O. Plásticos biodegradables. 2018. En Química, Universidad Distrital Francisco José de Caldas pag 1.

<sup>10</sup> CORDERO O., MUIÑAS I. Evaluación y diagnóstico de los plásticos en la playa de vilariño. [Consultado el MAY 23, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [En esdelibro.es](http://esdelibro.es). cap 1.1

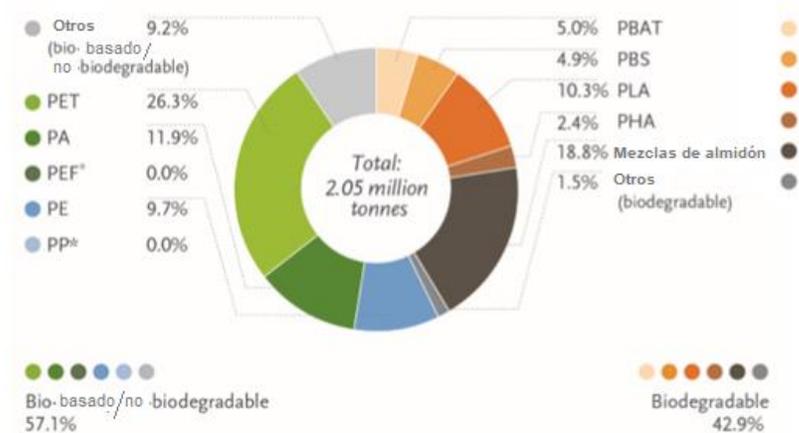
<sup>11</sup> FERNÁNDEZ MORALES, J. J., & VARGAS ROMERO, P. A.. Elaboración de un plan de negocios para determinar la factibilidad de la producción de bioplásticos a partir de papa en contra de la contaminación en Colombia. 2015 pdf, pag 14. [Consultado el MAY 23, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13350/2/PRODUCCI%C3%93N%20DE%20BIOPL%C3%81STICOS>.

y a metano bajo condiciones anaeróbicas por microorganismos del suelo, mar, agua de lagos y aguas residuales<sup>12</sup>.

La denominación de biopolímeros abarca dos tipos de moléculas. El primero incluye aquellas sintetizadas por los seres vivos, como la celulosa, el almidón o los aceites vegetales; el segundo, las que resultan de la polimerización de una molécula básica proveniente de una fuente renovable, como el ácido láctico (Figura 3). La alteración de la estructura de un biopolímero mediante un agente dispersante lo transforma en un bioplástico<sup>13</sup>.

Existen bioplásticos sintetizados a partir de moléculas derivadas de la petroquímica, como algunos poliésteres sintéticos, que son biodegradables. También plásticos convencionales no biodegradables, a pesar de originarse a partir de moléculas de origen biológico. Cualquiera de esos dos criterios, un origen de una fuente renovable o su propiedad de ser biodegradable bastan para definir un bioplástico.<sup>14</sup>

**Figura 3.** Capacidad de producción global de bioplásticos en 2017



Fuente: Bioplasticsmarket data 2017, European Bioplastics Marienstrae [Consultado el MAY 23, 2019]. Archivo PDF 19-20 Berlin, Disponible en: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org)

<sup>12</sup> KHANNA S, SRIVASTAVA AK. Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoates. *Process Biochem.* (2005); 40(2): 607-619.

<sup>13</sup> VALERO Fernando, ORTEGÓN Yamileth, et al. 2013. Alternativa Biopolímeros En BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS. Nro. 181, pp. 171-180.

<sup>14</sup> HOOVER R, HUGHES T, et al. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Res Int.* (2010); 43(2): 399-413.

### 1.3 ALMIDÓN

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales y es la fuente de energía para muchos organismos, este polisacárido está organizado en partículas conocidas como gránulos que consisten en un polímero de D-glucosa en las semillas, tubérculos y raíces<sup>15</sup>.

Químicamente, el almidón está integrado por dos polímeros de diferente estructura la amilosa y la amilopectina, cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina<sup>16</sup>. Los porcentajes de amilosa y amilopectina tienen su significado cuando se presentan de manera individual; donde la amilosa posee características de gelificación y la amilopectina de viscosidad.

La amilosa (Figura 4) es un polímero de unidades de D-glucosa, unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4 glucosídicos, las cadenas no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente con un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes. La naturaleza lineal, flexible y la longitud de la cadena la confiere la capacidad de enrollarse formando una estructura helicoidal.<sup>17</sup>

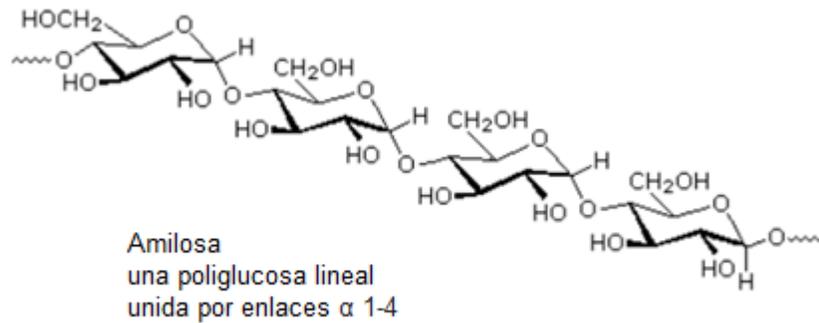
---

<sup>15</sup> COLLÍ J. Pablo. Químicamente, el almidón está integrado por dos polímeros de diferente estructura la amilosa y la amilopectina. 2018 En Repositorio Institucional de Mérida, Yucatán, México Pag 5

<sup>16</sup> PEÑARANDA Oscar, PERILLA Jairo y ALGECIRA Néstor. Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. 2008. En Revista de ingeniería e investigación VOL 28 No 3.(47.52)

<sup>17</sup> WHISTLER RL y DANIEL JR. Molecular structure of starch. 1984. In: Whistler RL, Bemiller JN y Paschall EF editors. Starch: Chemistry and Technology. New York, U.S.A: Academic Press. 154-180 pp

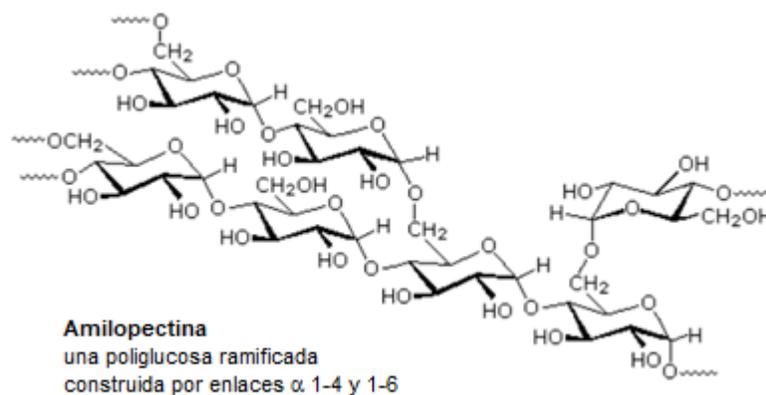
**Figura 4.** Estructura de la amilosa



Fuente: MARIA SEVILLA Jose. Estructura y función de los hidratos de carbono: azúcares, almidón, glucógeno, celulosa. 2005 Tema 5: Hidratos de carbono y su aprovechamiento. Dpt. Ingeniería Química Ampliación de Tecnología de los Alimentos Ingeniero Químico

La estructura de la amilopectina (Figura 5) contienen enlaces glicosidicos  $\alpha$  - 1,4 y  $\alpha$  - 1,6, tiene una estructura altamente ramificada en la cadena principal, las cuales se deben a los enlaces glicosidicos  $\alpha$  - 1,6 con otras moléculas de glucosa. Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las moléculas de amilosa, siendo la amilopectina el principal componente en la mayoría de los almidones.

**Figura 5.** Estructura de la amilopectina



Fuente: MARIA SEVILLA Jose. Estructura y función de los hidratos de carbono: azúcares, almidón, glucógeno, celulosa. 2005 Tema 5: Hidratos de carbono y su aprovechamiento. Dpt. Ingeniería Química Ampliación de Tecnología de los Alimentos Ingeniero Químico

**1.3.1 Gelatinización.** Se define como la pérdida de cristalinidad (perdida del orden de las cadenas poliméricas) de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización, en suspensión acuosa los granos se hinchan por la acción del calor, tienden a perder las propiedades que le confiere su estructura semicristalina (orden parcial de las cadenas poliméricas) y a una temperatura crítica forman un gel<sup>18</sup>.

Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los restos de los gránulos, también hidratados. El proceso de gelatinización puede estar influenciado por diversos factores como el tiempo, la temperatura, la humedad y preparación del material.<sup>19</sup>

Un polímero de almidón es un material termoplástico resultante del procesado del almidón natural por medios químicos, térmicos o mecánicos. Debido a su costo relativamente bajo, son atractivos como sustitutos de los plásticos basados en la petroquímica. Cuando son copolimerizados con otros monómeros pueden obtenerse copolímeros tan flexibles como el polietileno o tan rígidos como el poliestireno<sup>20</sup>.

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales particularmente de maíz, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de patata, batata y mandioca. El más utilizado para la producción de bioplásticos es el almidón de maíz.

## 1.4 ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)

El ácido láctico es un compuesto orgánico versátil usado comúnmente en la industria química, se encuentra formando parte de los ácidos carboxílicos ya que coincide un grupo carbonilo y un grupo hidroxilo en el mismo carbono, también es conocido como el ácido 2-hidroxiopropanoico. El ácido láctico puede ser sólido con un punto de fusión bajo en estado puro o puede presentarse también como un líquido, el cual presenta la característica de ser incoloro, con consistencia de jarabe, puede disolverse en éter y es insoluble en cloroformo, disulfuro de petróleo y éter de petróleo, pudiendo mezclarse con agua y alcohol<sup>21</sup>

---

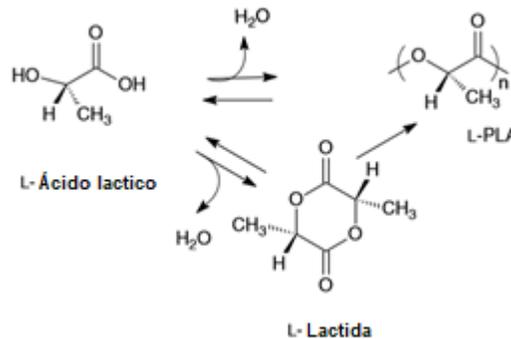
<sup>18</sup> H. G. Fritz. Study of production of thermoplastics and fibers based mainly on biological material. (1994). En European commission. Stuttgart German, 392.

<sup>19</sup> CASTRO Victor. Almidón. En composición bioquímica de productos agroindustriales, 2014 Universidad Nacional Del Santa, Facultad de Ingeniería. Pag 5.

<sup>20</sup> GARCÍA Quiñónez. Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. 2015. En Escuela especializada en ingeniería itca – fepade dirección de investigación y proyección social programa de investigación aplicada.

<sup>21</sup> MACIEL Filho. Synthesis and Characterization of Poly (Lactic Acid) for Use in Biomedical Field. 2015 Laboratory of Optimization, Design and Advanced Control

**Figura 6.** Rutas de polimerización al ácido poliláctico



Fuente: HENTON, David E. PATRICK Gruber, LUNT Jim, and RANDALL Jed Polylactic Acid Technology. 1741\_C16.qxd 2/11/2005 9:57 AM Page 527

El ácido láctico se puede producir por síntesis fermentativa o química y presenta amplias aplicaciones dentro de diferentes industrias como son la alimenticia, química, farmacéutica, del plástico, textil, la agricultura, la alimentación animal y otras, presenta una aplicación llamativa la posibilidad del ácido láctico de polimerizarse en PLA (Figura 6).

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero rígido termoplástico, es un polímero único que en muchos aspectos se comporta como el PET blando y flexible, pero también se comporta de manera similar como el polipropileno (PP) duro y rígido. Puede formarse en películas transparentes, fibras o moldearse por inyección en preformas moldeables por soplado para botellas. El PLA es un polímero semicristalino con una temperatura de transición vítrea de aproximadamente 55 a 59 ° C y un punto de fusión de 174-184 ° C. Muestra una buena resistencia mecánica, alto módulo de Young, plasticidad térmica y tiene una buena capacidad de procesamiento<sup>22</sup>.

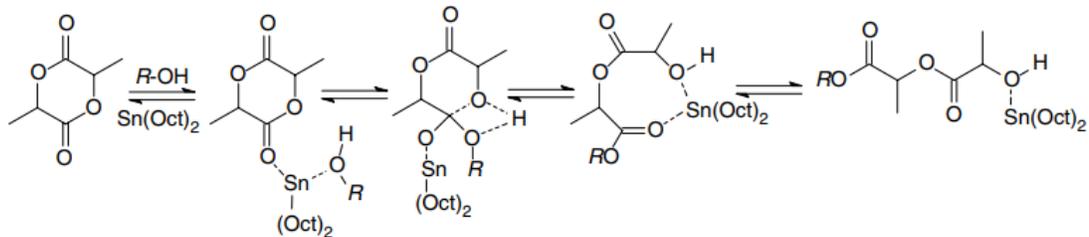
Para la obtención de un PLA de alto peso molecular ha surgido un método llamado polimerización por apertura del anillo (ROP) donde se realiza la polimerización del dímero láctida utilizando un adecuado catalizador donde se

<sup>22</sup>AURAS P. et.al. Procesado del ácido poliláctico (PLA) y de nanocompuestos PLA/montmorillonita en planta piloto: Estudio de sus cambios estructurales y de su estabilidad térmica. Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica. 2010 Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Colom, 11. E-08222 Terrassa. b Departamento de Ingeniería Química. Universitat de Girona. Campus Montilivi, s/n. E-17071 Girona. c Centre Català del Plàstic. C/ Colom, 114. E-08222 Terrassa.

produce PLA de alto peso molecular con múltiples aplicaciones (Figura 7). En este proceso el PLA es obtenido usando un catalizador con el monómero bajo vacío o en atmósfera inerte. Se debe controlar el tiempo de residencia, temperaturas en combinación con el tipo de catalizador y la concentración del monómero.

El mecanismo de polimerización depende del tipo de catalizador que se esté utilizando, así este puede ser iónico, de coordinación o de radicales libres como sales de metales de aluminio, estaño, titanio y zinc, y metales de tierras raras; alcóxidos de metal alcalino y complejos supermoleculares. Así también depende de factores como la concentración, la pureza del monómero y la temperatura en la polimerización de lactida (Xiao et al., 2012)<sup>23</sup>.

**Figura 7.** Mecanismo de crecimiento de la cadena polimérica láctica a PLA



Fuente: ENTON, David E. PATRICK Gruber, LUNT Jim, and RANDALL Jed Poly(lactic Acid) Technology. 1741\_C16.qxd 2/11/2005 9:57 AM Page 527

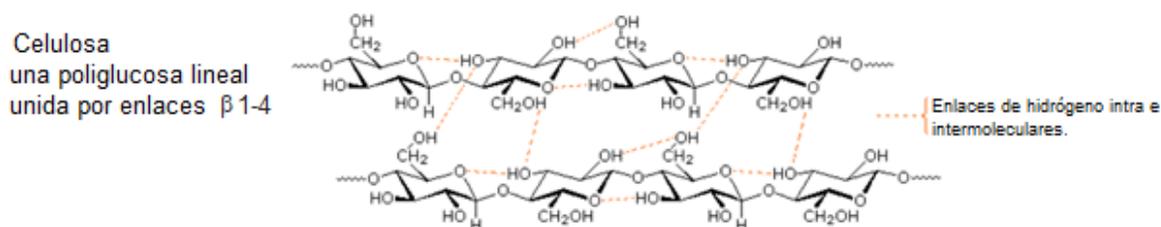
## 1.5 CELULOSA

Los materiales vegetales están compuestos principalmente por: celulosa, hemicelulosa y lignina, las cadenas celulósicas y hemicelulósicas se encuentran unidas entre sí en los filamentos celulósicos constituyentes de las fibrillas elementales mediante fuerzas atractivas internas a través de los grupos funcionales hidroxilo y carboxilo de las macromoléculas de celulosa y las hemicelulosas.<sup>24</sup>

<sup>23</sup>Xiao L. et.al. Poly(LacticAcid)-BasedBiomaterials: Synthesis, Modification and Applications. 2012 College of LifeScience and Technology, HuazhongUniversity of Science and Technology, NationalEngineeringResearch Center for Nano-Medicine, HuazhongUniversity of Science and Technology, Department of Chemistry, University of Waterloo, China Canada.

<sup>24</sup> CATAÑO Elkin. obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de desechos agroindustriales. 2009. En Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas, Escuela de Procesos y Energía, Sede Medellín.pag 13.

**Figura 8.** Estructura de la celulosa



Fuente: MARIA SEVILLA Jose. Estructura y función de los hidratos de carbono: azúcares, almidón, glucógeno, celulosa. 2005 Tema 5: Hidratos de carbono y su aprovechamiento. Dpt. Ingeniería Química Ampliación de Tecnología de los Alimentos Ingeniero Químico

La celulosa es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza y de gran importancia a nivel biológico e industrial es un polisacárido formado por moléculas de cadenas lineales (Figura 8); es el principal componente en la mayoría de las fibras naturales como: algodón, lino, cáñamo, yute, sisal, caña de azúcar, entre otras.<sup>25</sup>

Las fibras de algodón y madera son las materias primas principales para la producción industrial de celulosa. En el algodón, la celulosa está disponible en su forma prácticamente pura; por el contrario, en la madera está presente junto con lignina y otros polisacáridos (hemicelulosas) de los cuales debe aislarse y purificarse. Aparte de las plantas, ciertas bacterias, algas y hongos producen celulosa.<sup>26</sup>

Los polímeros de celulosa pueden usarse en procesos de extrusión y moldeo. El acetato de celulosa, el acetato-butirato de celulosa y el acetato-propionato de celulosa son los derivados más importantes utilizados para fabricar tiradores, asas, juguetes, embalajes, piezas para el automóvil, películas para aislamiento eléctrico.<sup>27</sup>

La celulosa mecánica se obtiene a partir de un proceso en el cual la madera, una vez molida y triturada, se somete a altas presiones y a una temperatura de unos 140 °C, que es la temperatura de transición vítrea de la lignina. Este proceso requiere un elevado consumo de energía. En el proceso de producción de celulosa química la mayor parte de la lignina se remueve por disolución con agentes químicos, evitando que el papel final se vuelva amarillo por oxidación de la lignina.

<sup>25</sup> GALVAN Berenice. Aislamiento, purificación y caracterización de actividad celulolítica de hongos de corteza de *Pinus hartwegii*. Octubre 2018.

<sup>26</sup> HYCAIL . [Consultado el MAY 23,2019]. Disponible en: <http://www.hycail.com/pages/engels/hycailen.html>

<sup>27</sup> Noticia Plásticos Universales de 2 de enero 2006. [Consultado el MAY 23,2019]. Disponible en: <http://www.plastunivers.com/Tecnica/noticias/Noticia.asp?ID=12019>.

Dependiendo de los compuestos químicos (lejías) usados en la cocción, existen celulosas químicas kraft o al sulfato y celulosas al sulfito<sup>28</sup>.

Actualmente la producción de pasta de celulosa mediante el proceso al sulfato es la más utilizada a nivel mundial, mientras la producción de pasta de celulosa mediante el proceso al sulfito requiere un medio ácido y es muy contaminante, por lo que prácticamente no se utiliza en la actualidad<sup>29</sup>. Con la aparición de las películas de poliolefinas, con mejor procesabilidad, durabilidad, propiedades mecánicas y menor precio, las películas de celulosa quedaron relegadas, así como otras aplicaciones para fibras o plásticos. Y, aunque en los últimos años se han producido mejoras en la tecnología de regeneración de celulosa, no parece probable que incrementen su cuota de mercado sino que, al contrario, incluso la pierdan con el desarrollo de otras alternativas basadas en bioplásticos.<sup>30</sup>

## 1.6 POLIHIDROXIALCANOATOS (PHA)

Son polímeros de ácidos hidroxialcanoicos que algunos microorganismos acumulan intracelularmente como material de reserva, para usarlo posteriormente como fuente de carbono y energía (Figura 9). La polimerización de los ácidos hidroxialcanoicos, por acción de enzimas intracelulares, tiene lugar mediante condensación del grupo carboxilo de un monómero (ácido hidroxialcanoico), con el grupo hidroxilo del siguiente, formándose un enlace éster; de ahí que se han llamados biopolíesteres.<sup>31</sup>

---

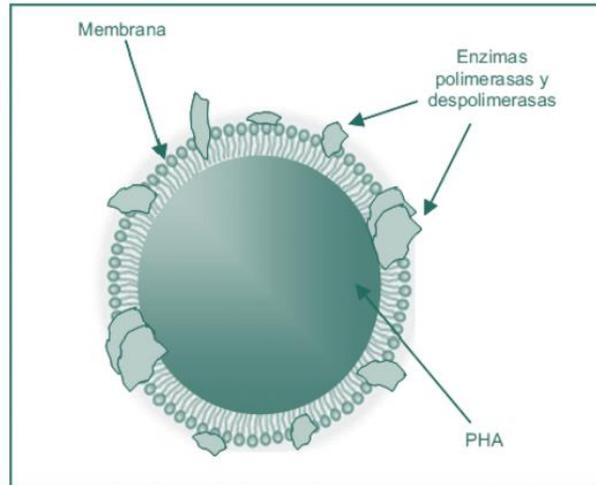
<sup>28</sup> RUEDA Cataño, HERNÁN Elkin. Obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de desechos agroindustriales. 2009. En Repositorio institucional Universidad nacional de Colombia 920

<sup>29</sup> SANZ Ascensión. Tecnología de la celulosa. La industria papelera. Química Orgánica Industrial. [Consultado el MAY 23,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

<sup>30</sup> Noticia Plásticos Universales de 2 de enero 2006. [En línea]. [Consultado el MAY 23,2019]. Disponible en: <http://www.plastunivers.com/Tecnica/noticias/Noticia.asp?ID=12019>.

<sup>31</sup> GONZALEZ Yolanda, MEZA Juan, et al. Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. 2013. En: Rev. Int. Contam. Ambie. 29(1) 77-115. Pag 77

**Figura 9.** Esquema del gránulo de PHA acumulado intracelularmente



Fuente: LEMOS DELGADO. Ana Carolina MINA CORDOBA. Alexis Polihidroxicanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. 30-05-2015. Colombiana, Bióloga, Estudiante de Maestría en Biotecnología, Facilitadora área de Biotecnología Tecnoacademia Nodo Cali, Centro ASTIN, SENA Regional Valle.

En general, la producción de los PHAs consiste en tres etapas: (a) Fermentación, (b) Extracción o recuperación, (c) Purificación. En el proceso de fermentación se produce el crecimiento de la biomasa y se sintetiza y acumula el polímero. Posteriormente, se extrae y recupera el polímero de las células, y finalmente se lleva a cabo la purificación del mismo.<sup>32</sup>

Después del proceso de fermentación, para la recuperación de la biomasa, el caldo de cultivo se centrifuga y la biomasa precipitada se filtra. Para la extracción del polímero del interior de las células se usan normalmente disolventes clorados, especialmente por reflujo con cloroformo. Debido a que los disolventes clorados son altamente agresivos para el medio ambiente y para la salud humana.<sup>33</sup>

<sup>32</sup> RAMOS F; ESTRADA V; et al. Producción de poli(beta-hidroxiburirato) utilizando Glicerol como fuente de carbono. 2014. En Vol 24 No 1. Revista científica. Pag 71.

<sup>33</sup> FIORESE M.L., FREITAS F., PAIS J., et al. Recovery of polyhydroxybutyrate (P3HB) from *Cupriavidus necator* biomass by solvent extraction with 1,2-propylene carbonate. 2009. Eng. Life. Sci. 9,454-461.

Se han desarrollado otros procesos de extracción basados en el uso de carbonato de etileno o de propileno,<sup>34</sup> así como metodologías de digestión química que se basan en la liberación del polímero mediante la ruptura de las células usando soluciones de hipoclorito de sodio, ácidos o bases. Una vez añadido el disolvente, la solución resultante se centrifuga y se filtra para eliminar restos de células. Posteriormente, el PHA se precipita normalmente en metanol o etanol y se recupera el polímero por evaporación del disolvente.<sup>35</sup>

Los polihidroxicanoatos (PHA) son considerados fuertes candidatos para el reemplazo de los polímeros de origen petroquímico, ya que siendo sintetizados por microorganismos a partir de sustratos de bajo o nulo valor económico y en general de recursos renovables, tienen características físicas como buena resistencia química y térmica, buenas propiedades de barrera y buenas propiedades mecánicas similares a las de los plásticos derivados del petróleo, como el polipropileno y polietileno<sup>36</sup>.

## 1.7 ALCOHOL DE POLIVINILO

El alcohol de polivinilo (PVOH, PVA, o PVal), también llamado polietenol o poli (alcohol vinílico), es un polímero sintético soluble en agua, de fórmula química general  $(C_2H_4O)_n$ . El alcohol polivinílico tiene aspecto granulado color blanco y es inodoro. Este alcohol puede formar películas con capacidad emulsionante y adhesiva, que pueden soportar tensiones fuertes. Además de ser un material flexible, el alcohol polivinílico es higroscópico y muy soluble en agua, estando afectadas sus propiedades por el grado de hidratación.<sup>37</sup>

El alcohol polivinílico puede usarse en la fabricación de láminas o películas que son barreras para el oxígeno y los aromas. Esto ha permitido que sea utilizado en el empaquetamiento de los alimentos, siendo éste su uso principal, ya que más del 30% de su producción se emplea con este fin.<sup>38</sup> El PVA y sus copolímeros se han usado en medicamentos de liberación controlada. A pesar de su alto contenido de agua los hidrogeles de PVA son útiles tanto para fármacos hidrofílicos como hidrofóbicos. También se ha utilizado para la liberación de polipéptidos, para

---

<sup>34</sup> Fiorese M.L., Freitas F., Pais J., et al. Recovery of polyhydroxybutyrate (P3HB) from *Cupriavidus necator* biomass by solvent extraction with 1,2-propylene carbonate. 2009. Eng. Life. Sci. 9,454-461.

<sup>35</sup> GONZALEZ Yolanda, MEZA Juan, et al. Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. 2013. En: Rev. Int. Contam. Ambie. 29(1) 77-115. Pag 77

<sup>36</sup> GONZÁLEZ, Yolanda.; MEZA, Juan.; et al. Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. 2013. En Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 29 (1), 77-115. Pag 77

<sup>37</sup> VINIT Mehta. Polyvinyl Alcohol: Properties, Uses, and Application. 2018. [Consultado el MAY 23, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [toppr.com](http://toppr.com)

<sup>38</sup> MORENO Breiner; SANCHEZ Maria; Obtención de plásticos. 2018. En: Universidad ECCI, Gestión de procesos industriales.

liberación de teofilina, y últimamente en microesferas cargadas con sulfato de bario y metilotalamato como marcadores de embolización endovascular.<sup>39</sup>

## 1.8 APÓSITO

Un apósito es un producto sanitario empleados para cubrir y proteger una herida, su función consiste en proporcionar alivio del dolor, actuar de barrera frente a la infección, absorber el exudado que ésta produce, permitir una adecuada circulación sanguínea y optimizar el proceso de cicatrización (Figura 10).<sup>40</sup>

**Figura 10.** Partes de un apósito



Fuente: Urgomedical. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF Disponible en: <http://www.urgomedical.es/>

## 1.9 CLASIFICACIÓN DE UN APÓSITO

Según su permeabilidad los apósitos oclusivos son permeables a todo. Aíslan la úlcera del exterior favoreciendo el inicio de la granulación. Los apósitos semioclusivos son permeables al oxígeno, al monóxido de carbono y al vapor de agua; son impermeables al agua líquida y a las bacterias.<sup>41</sup>

Según su localización estos se dividen en primario el que va en contacto directo con la herida y secundario el que va sobre el primario para proteger y sostener.

<sup>39</sup> HERNÁNDEZ B., EFRÉN, & CRUZ R., et al. Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. 2007 Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 38(2),15-25. [Consultado En May 28,2019]. ISSN: 1870-0195. Archivo PDF Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=579/57938203>

<sup>40</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>41</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

Según su complejidad se dividen en apósitos pasivos, interactivos, bioactivos, los apósitos de plata y los implantes de colágeno.<sup>42</sup>

**1.9.1 Apósitos pasivos.** Son apósitos simples, y sirven principalmente para proteger, aislar, taponar y absorber.<sup>43</sup>

- Apósitos de gasa: Tejida, de material natural con alta adherencia, 100% algodón. Destruyen tejido de granulación. Presentan mala absorción y altos residuos. No tejida (prensada), son sintéticas, compuestas de poliéster y rayón. El rayón brinda suavidad, volumen y absorbencia; el poliéster aporta resistencia. Presentan buena absorción y no se adhieren a la herida.<sup>44</sup>
- Apósito tradicional: Espuma, la espuma está fabricada en poliuretano, de malla estrecha, que permite absorber el exudado, pero la densidad de la malla no permite la oxigenación de la herida.<sup>45</sup>

**1.9.2 Apósitos interactivos.** Sirven para mantener un ambiente fisiológico húmedo en la herida o úlcera. El uso de apósitos interactivos estimula enzimas catalíticas que favorecen la autólisis y permiten que la eliminación del tejido muerto, dañado o infectado tenga lugar sin dolor.<sup>46</sup>

- Tul, es una gasa tejida de malla ancha, uniforme y porosa que ha sido impregnada con una emulsión de petrolato que permite el libre flujo del exudado de las heridas, lubrica y permite mantener la humedad y los tejidos sano.<sup>47</sup>

---

<sup>42</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>43</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>44</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>45</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>46</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>47</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

- Espuma hidrofílica: Láminas, formadas por una espuma de poliuretano hidrofílica. Cojincillos, Están compuestos de partículas de espuma de poliuretano encerradas en una capa de igual material, pero perforada. Están indicados en heridas, quemaduras, pie diabético con exudado de moderado a abundante.<sup>48</sup>
- Apósito transparente: Adhesivos, mantienen un ambiente fisiológico húmedo en la herida al dejar pasar el vapor de agua, permitiendo la oxigenación e impidiendo el paso de agua, bacterias y virus. La transparencia del apósito permite la inspección visual de la herida. No adhesivos, Es un apósito primario de contacto directo con la herida, formado por una membrana de nailon, no adherente, porosa, hipoalergénica y no irritante.<sup>49</sup>

**1.9.3 Apósitos bioactivos.** Poseen la característica de interactuar con la herida. Están diseñados para mantener una humedad fisiológica en la herida o úlcera y permitir la oxigenación.<sup>50</sup>

- Hidrocoloide, es un apósito autoadhesivo, semioclusivo u oclusivo que contiene partículas hidroactivas y absorbente, que proporcionan una absorción de escasa a moderada, manteniendo una temperatura y humedad fisiológicas en la superficie de la herida.<sup>51</sup>
- Hidrogel, este apósito está constituido por un gel amorfo no adherente o por una macroestructura tridimensional fija en forma de lámina. Ambos contienen polímeros espesantes y humectantes con un alto contenido de agua que determinan un ambiente húmedo fisiológico sobre el lecho de la herida.<sup>52</sup>

---

<sup>48</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>49</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>50</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>51</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>52</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

- Alginatos, están formados por un polisacárido natural derivado de la sal de calcio del ácido algínico (proveniente de las algas marinas), que posee iones de sodio y calcio en distintas proporciones. Al entrar en contacto con el exudado de la herida rico en iones de sodio, se produce un intercambio: el alginato absorbe iones de sodio y libera iones de calcio al medio.<sup>53</sup>

**1.9.4 Apósitos de plata.** La plata es un agente bactericida usado en medicina, Existen apósitos mixtos, compuestos por carbón activado cubierto por una funda de nailon porosa y por plata en su interior. El carbón activo permite absorber los microorganismos y otras partículas indeseables a la vez que neutraliza el mal olor. La plata le confiere propiedades bactericidas, ya que destruye las bacterias adheridas al carbón activado.<sup>54</sup>

## 1.10 BIODEGRADACIÓN

Degradación causada por actividad biológica, especialmente por acción enzimática que conduce a un cambio significativo en la estructura de un material. Los principales agentes involucrados son bacterias y hongos.<sup>55</sup>

Una familia de normas de ASTM está dirigida al estudio del deterioro de las propiedades físicas de los plásticos en una variedad de condiciones ambientales específicas incluyendo compostaje simulado (D5509, D5512), vertedero simulado (D5525), actividad microbiana aeróbica (D5247) y condiciones de marina flotante (D5437).<sup>56</sup>

Un segundo grupo de normas de ASTM está dirigido al estudio de generación de CO<sub>2</sub> en entornos aeróbicos, incluida la utilización de lodos (D5209), de lodos activados (D5271) y compostaje controlado (D5338).<sup>57</sup>

<sup>53</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>54</sup> BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En May 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

<sup>55</sup> CONDREA Gina. Definición de la metodología del test de biodegradabilidad bajo condiciones aerobias. 2016. [Consultado En May 29,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3031/1/TFM%20Condrea%20Rineanu%2C%20Gina.pdf>

<sup>56</sup> International Standards Organization (ISO-472) 2010. . [Contultado en JUN 2,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://www.academia.edu/28926176/Microsoft\\_Word\\_-\\_REV\\_Gu\\_355a\\_est\\_341ndar\\_para\\_la\\_exposici\\_363n\\_y\\_pruebas\\_de\\_pl\\_341sticos\\_biodegradable](https://www.academia.edu/28926176/Microsoft_Word_-_REV_Gu_355a_est_341ndar_para_la_exposici_363n_y_pruebas_de_pl_341sticos_biodegradable)

<sup>57</sup> International Standards Organization (ISO-472) 2010. [En línea]. [Contultado en JUN 2,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://www.academia.edu/28926176/Microsoft\\_Word\\_-\\_](https://www.academia.edu/28926176/Microsoft_Word_-_)

Un tercer grupo de normas ASTM aborda la evolución de CH<sub>4</sub> y el CO<sub>2</sub> en ambientes anaeróbicos (D5210), biodegradación anaeróbica (D5511) y vertedero acelerado (D5526). La norma ASTM D6400 establece los requisitos para distinguir entre plásticos degradables y biodegradables (López, Pedro (M.Sc.), 2008).<sup>58</sup>

Prueba de biodegradación: La prueba de biodegradación debe realizarse por triplicado en cada uno de los siguientes:

- 1.) La muestra (100 g de muestra + 600 g de peso seco de compost)
- 2.) Control positivo (100 g de celulosa + 600 g de peso seco de compost)
- 3.) Control negativo (100 g de polietileno + 600 g peso seco de compost)
- 4.) Blanco (600 g peso seco de compost).

Después de comenzar con el producto cortado en longitudes de 2 cm, en 12 doce semanas de compostaje en condiciones de compostaje controladas por el laboratorio, el 90% del producto debe pasar un tamiz de 2 mm.

El 60% del carbono orgánico se debe convertir en dióxido de carbono al final del período de prueba, en comparación con el control positivo (celulosa)<sup>59</sup>.

### 1.11 ESTERILIZACIÓN

Es el proceso mediante el cual se alcanza la muerte de todas las formas de vida microbianas, incluyendo bacterias, hongos y sus esporos, y virus. Se entiende por muerte, la pérdida irreversible de la capacidad reproductiva del microorganismo. Cuando una población bacteriana es expuesta a un agente letal físico o químico, se produce una progresiva reducción del número de sobrevivientes.<sup>60</sup>

Existen un conjunto de condiciones ambientales que afectan la cinética de destrucción, dentro de estos se encuentran:

---

\_REV\_Gu\_355a\_est\_341ndar\_para\_la\_exposici\_363n\_y\_pruebas\_de\_pl\_341sticos\_biodegradable

S  
<sup>58</sup> International Standards Organization (ISO-472) 2010. [En línea]. [Consultado en JUN 2,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://www.academia.edu/28926176/Microsoft\\_Word\\_-\\_REV\\_Gu\\_355a\\_est\\_341ndar\\_para\\_la\\_exposici\\_363n\\_y\\_pruebas\\_de\\_pl\\_341sticos\\_biodegradable](https://www.academia.edu/28926176/Microsoft_Word_-_REV_Gu_355a_est_341ndar_para_la_exposici_363n_y_pruebas_de_pl_341sticos_biodegradable)

S  
<sup>59</sup> Aseem Das WorldCentric. Determing Aerobic Biodegradation of Plastic Palo Alto, CA 94306 MaterialsUnderControlledCompostingConditions. 2010.U.S.A. [En línea]. [Consultado en JUN 2,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.worldcentric.org/files/wheatstraw-astm6400.pdf>.

<sup>60</sup> VIGNOLI, Rafael. Esterilización, desinfección y antisepsia.SF. [Consultado en JUN 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/esterilizacionydesinfeccion.pdf> pag 609

- Concentración del agente
- Tiempo de exposición
- pH del medio
- Temperatura
- Presencia de materiales extraños
- Resistencia propia del microorganismo
- Número inicial de la población

La eficacia de cada agente depende también de las propiedades características de cada microorganismo contra el cual se lo está aplicando. Así el tipo de pared celular, la presencia de esporas, la fase de desarrollo, etc., modifican la resistencia.<sup>61</sup>

La energía térmica es la forma más efectiva de esterilización, esta puede utilizarse como calor húmedo o seco. Las temperaturas a la cual puede usarse el calor húmedo son:

Por debajo de 100°C Pasteurización  
 A 100°C Ebullición y Tindalización  
 Por encima de 100°C Autoclavado<sup>62</sup>

**1.11.1 Pasteurización.** Existen dos métodos de pasteurización: o se calienta a 65°C durante 30 segundos o a 72°C durante 15 segundos. Luego ambas se enfrían rápidamente a 10°C. Esta técnica se utiliza fundamentalmente en la descontaminación de la leche.<sup>63</sup>

**1.11.2 Ebullición.** Consiste en mantener un objeto o sustancia en un baño a 100°C durante 30 minutos. Aplicado así destruye la mayoría de las formas vegetativas bacterianas, hongos y virus lipídicos. En cambio no es efectivo para la

---

<sup>61</sup> VIGNOLI, Rafael. Esterilización y desinfección. SF. [Consultado en JUN 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en [https://www.academia.edu/37294168/ESTERILIZACION\\_Y\\_DESINFECCION.pdf](https://www.academia.edu/37294168/ESTERILIZACION_Y_DESINFECCION.pdf) pag 1

<sup>62</sup> VIGNOLI, Rafael. Esterilización y desinfección. SF. [Consultado en JUN 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en [https://www.academia.edu/37294168/ESTERILIZACION\\_Y\\_DESINFECCION.pdf](https://www.academia.edu/37294168/ESTERILIZACION_Y_DESINFECCION.pdf) pag 1

<sup>63</sup> SOSA Daniel. Pulsos eléctricos de alta tensión para conservación de alimentos y esterilización médica. 2006. XIV Seminario de Ing biomédica 2006. Univ De la Rep. Oriental de Uruguay. Pag 5. [Consultada en JUN 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202006/Trabajos%20estudiantes%202006/Sosa,%20Danie l%20.pdf>.

destrucción de esporos y virus no envueltos. La repetición de este proceso durante tres días consecutivos, constituye la tindalización.<sup>64</sup>

**1.11.3 Autoclavado.** Utiliza vapor de agua a 121°C durante 15 o 20 minutos. Esta temperatura se logra si se obtiene una presión de una atmósfera. Es el mecanismo de destrucción microbiana más efectivo, y bien utilizado asegura esterilización. El equipo que se utiliza es la autoclave.<sup>65</sup>

El calor seco provoca la acción letal como el resultado del calor transmitido desde el material con el cual los microorganismos están en contacto, y no desde el aire caliente que los rodea. Existen tres formas principales de esterilización por calor seco: flambeado, incineración y mediante la utilización del horno pasteur. Para ello se necesita alcanzar mayor tiempo y temperatura que en la autoclave, debiéndose mantener un objeto a 160°C durante 2 horas el motivo de estos incrementos estaría dado por la ausencia de agua.

---

<sup>64</sup> SOSA Daniel. Pulsos eléctricos de alta tensión para conservación de alimentos y esterilización médica. 2006. XIV Seminario de Ing biomédica 2006. Univ De la Rep. Oriental de Uruguay. Pag 5. [Consultada en JUN 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202006/Trabajos%20estudiantes%202006/Sosa,%20Danie l%20.pdf>.

<sup>65</sup> VIGNOLI, Rafael. Esterilización y desinfección. SF. [Consultado en JUN 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://www.academia.edu/37294168/ESTERILIZACION\\_Y\\_DESINFECCION.pdf](https://www.academia.edu/37294168/ESTERILIZACION_Y_DESINFECCION.pdf) pag 1

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

El almidón puede usarse en su estado nativo o modificado químicamente, este tiene la capacidad de gelificar, lo que le permite ser moldeado y formar películas, éste puede provenir del maíz, papa, trigo, sorgo, yuca, caña, entre otros y puede encontrarse en concentraciones entre el 30 y el 70 % de la composición de la mezcla polimérica<sup>66</sup>.

El almidón es único entre los carbohidratos debido a que se presenta en la naturaleza en forma de gránulos constituidos por regiones amorfas y semicristalinas, por su tamaño y complejidad deben ser utilizados procesos calor-humedad para transformar el gránulo de almidón en almidón termoplástico (TPS). El TPS es un material que se obtiene por la modificación estructural que se da dentro del gránulo de almidón cuando este es procesado bajo la adición de agua, la acción de fuerzas térmicas y mecánicas y en presencia de un plastificante, de esta forma se pueden usar varias técnicas para modificar el almidón, comúnmente usadas en polímeros sintéticos como son: extrusión, inyección, moldeo por compresión, entre otras técnicas<sup>67</sup>.

Al medir la temperatura de gelatinización del almidón se obtiene la temperatura a la cual se deberán realizar las mezclas poliméricas, siendo el almidón el componente principal de estas, la obtención de este parámetro es de gran importancia ya que este condicionará la temperatura a la cual se llevaran a cabo los demás procedimientos. Para medir la temperatura de gelatinización es necesario realizar una solución de almidón y calentarla a diferentes temperaturas para posteriormente medir la viscosidad de la solución así la solución que presente la mayor viscosidad nos dará el valor de la temperatura de gelatinización siendo esta la temperatura a la cual se llevó la solución.

### 2.1 GELATINIZACIÓN Y RETROGRADACIÓN

La gelatinización es quizá la transición más importante del almidón debido a que es una transición de orden a desorden que sufren los polímeros que constituyen el gránulo de almidón al ser sometidos a procesos de calentamiento dando origen a cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y modificación del gránulo con una consecuente pérdida de cristalinidad.

---

<sup>66</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2012. En revista biotecnología Vol 10 No1 (182-192)

<sup>67</sup> VILLADA Héctor, ACOSTA Harold y VELASCO Reinaldo. Investigación de almidones termoplásticos, precursores biodegradables. 2008. En Información tecnológica- Vol 19 N°2 (3-14)

Para la transición se requiere un porcentaje de agua mayor al 30 % y una temperatura entre 60 y 90°C<sup>68</sup>, este rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización valor que depende de la fuente de origen del almidón, durante el proceso, las moléculas de almidón vibran rompiendo los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas de los gránulos, lo que provoca el hinchamiento por una absorción progresiva e irreversible de agua que finalmente se liga a la estructura y a una temperatura crítica se forma un gel (Figura 11).

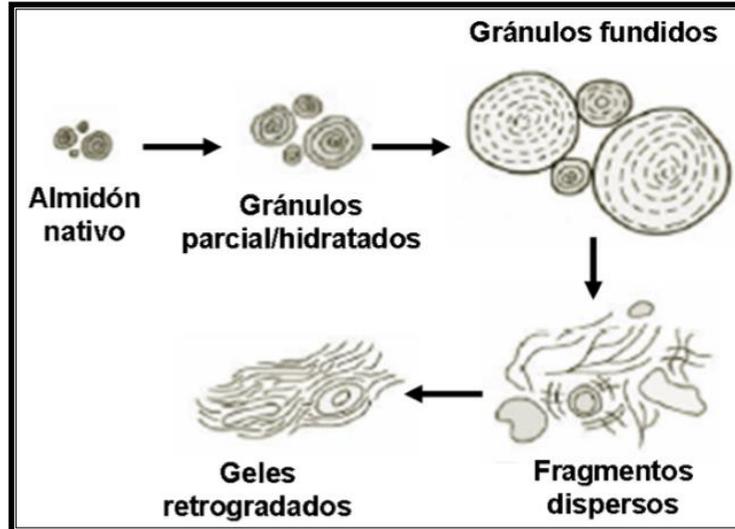
Posterior a la gelatinización, en el momento en que deja de introducirse calor y comienza la etapa de enfriamiento, la viscosidad crece de nuevo y se presenta el fenómeno denominado retrogradación. La retrogradación se define como un incremento espontáneo del estado del orden, es decir, una reorganización de los puentes de hidrógeno y reorientación de las cadenas moleculares debido a esto se presenta la precipitación espontánea de las moléculas de amilosa la cual dependiendo de su porcentaje contenido le otorga una tendencia diferente a la retrogradación a cada tipo de almidón.<sup>69</sup>

---

<sup>68</sup> TARIQ Ziyad. MSc Physical and Chemical Investigations of Starch Based Bio-Plastics. 2015. in Material Science (Leicester) University of Leicester. [Consultada en JUN 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://leicester.figshare.com/articles/Physical\\_and\\_Chemical\\_Investigations\\_of\\_Starch\\_Based\\_Bio-Plastics/10153928/1](https://leicester.figshare.com/articles/Physical_and_Chemical_Investigations_of_Starch_Based_Bio-Plastics/10153928/1)

<sup>69</sup> MENESES Juliana. CORRALES Maria. VALENCIA Marco. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.2007. Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq no.8 Envigado [Consultada en JUN 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1794-12372007000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1794-12372007000200006)

**Figura 11.**Proceso de gelificación del almidón



Fuente: TOVAR BENITEZ. Tomas. Caracterización morfológico y térmica del almidón de maíz (zea myas L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. 2008. Universidad autónoma del estado de hidalgo. Instituto de ciencias básicas e ingeniería. Licenciatura química en alimentos

**2.1.1 Procedimiento.** Para obtener la temperatura de gelatinización se usaron los siguientes reactivos, equipos y el proceso que se describirá a continuación.

Almidón de maíz FARQUIM Proporcionado en el laboratorio de nanotecnología y biotecnología de Tecnoparque (Ver anexo I)

Agua destilada Obtenida del equipo de destilación del laboratorio de fisicoquímica de Tecnoparque.

pH metro JENWAY 350 350/REV A/10-03

Plancha de calentamiento THERMO SCIENTIFIC CIMAREC

Viscosímetro FUNGILAD ALPHA SERIE L

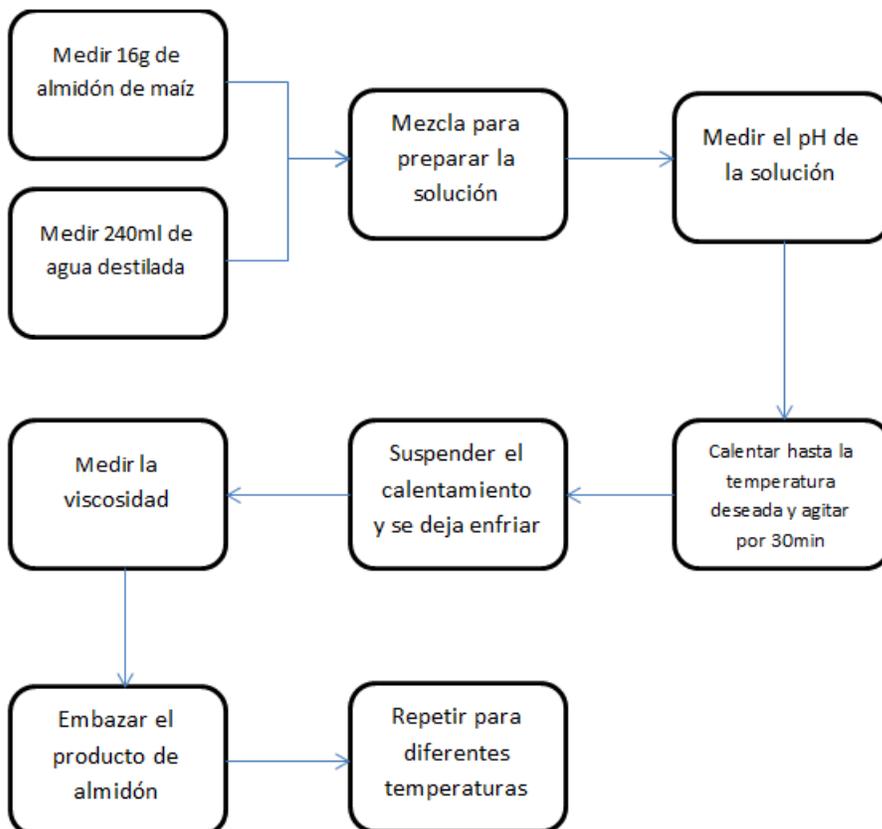
El siguiente procedimiento fue tomado de Marilyn Hernández-Medina, 2008 Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México<sup>70</sup> donde se sugiera medir la viscosidad del almidón a 60, 70, 80 y 90°C

<sup>70</sup> HERNÁNDEZ Marilyn, MEDINA Juan, et al. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. 2008. En Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Juárez, 421, Cd. Industrial, CP 97288, Apdo. Postal 1226

contaba durante 30 min para determinar la temperatura de gelatinización, el anterior se escogió debido a que permitía desarrollarse de una manera eficiente y eficaz teniendo en cuenta los materiales, el tiempo y la disponibilidad de equipos necesarios para su desarrollo.

La temperatura de gelatinización se determinó preparando 40 mL de una suspensión de almidón al 1% (base seca), en agua destilada a 30 °C. Se calentaron a una velocidad de 1,5 °C/minuto hasta alcanzar 60, 70, 80 ó 90 °C y se mantuvieron a esas temperaturas durante 30 minutos con agitación y se dejaron enfriar a temperatura ambiente el gel resultante se le midió la viscosidad.<sup>71</sup>

**Figura 12** .Diagrama de proceso para la temperatura de gelificación



Fuente: elaboración propia.

Al seguir este procedimiento en el cual se obtiene una relación de 1:1.3 m/v entre el almidón y el agua, se observó que para la primera muestra de 60°C se obtuvo

<sup>71</sup> HERNÁNDEZ Marilyn, MEDINA Juan, et al. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. 2008. En Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Juárez, 421, Cd. Industrial, CP 97288, Apdo. Postal 1226

una masa sólida de almidón a la cual no se le podía medir la viscosidad, por esto se decidió adicionar 390ml de agua a la solución de almidón y agua la cual poseía inicialmente 130ml de agua, se obtuvo una solución de 100g de almidón y 520ml de agua la cual se dividió a la mitad para obtener una solución final de 50g de almidón y 260ml de agua, así se contaba con una relación de 1:5.2 m/v de esta manera se pudo obtener una solución a 60°C a la cual fue posible medir la viscosidad, sin embargo, para las demás soluciones de 70, 80 y 90°C esto no fue posible ya que aún presentaban una forma sólida que impedía medir la viscosidad.

Debido a esto la relación fue cambiada nuevamente de 1:10 m/v usando 22g de almidón y 220ml de agua y disminuyendo el tiempo de calentamiento a 5 min para impedir que una gran cantidad de agua se evaporara de esta manera se pudo contar con soluciones a las cuales se les podía medir la viscosidad, aun así se decidió volver a subir la relación a 1:15 m/v con 16g de almidón y 220ml de agua ya que la solución a 90°C seguía presentando algunos problemas pero debido a este cambio se pudo medir la viscosidad satisfactoriamente.

## 2.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

**Tabla 1.** Valor de la viscosidad a diferentes temperaturas relación 1:15 m/v de almidón-agua

T (°C)	Viscosidad (PA.s)	
	Prueba	Replica
60	2,14	1,98
70	48,74	41,4
80	602,91	628,20
90	9485,43	8762,73

Fuente: elaboración propia.

**Figura 13.** Muestra viscosidad T= 60°C



Fuente: elaboración propia.

**Figura 14.** Muestra viscosidad T= 70°C



Fuente: elaboración propia.

**Figura 15.** Muestra viscosidad  $T= 80^{\circ}\text{C}$



Fuente: elaboración propia.

**Figura 16.** Muestra viscosidad  $T= 90^{\circ}\text{C}$



Fuente: elaboración propia.

Los gránulos de almidón pueden contener agua al aumentar la temperatura, a esto se le denomina gelatinización la cual se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan y al final se genera un gel en el cual existen cadenas de carbohidratos de bajo peso molecular altamente hidratadas.

Como se puede observar en las figuras 14, 15, 16 y 17 a medida que los gránulos de almidón se hidratan la viscosidad de la solución aumenta esto es evidencia en el avance del proceso de gelatinización, así pudo medirse este proceso al fijar una cantidad de tiempo y una temperatura en los cuales se dará la hidratación de los gránulos de almidón haciendo aumentar la viscosidad.

**Tabla 2.** Características del almidón de maíz

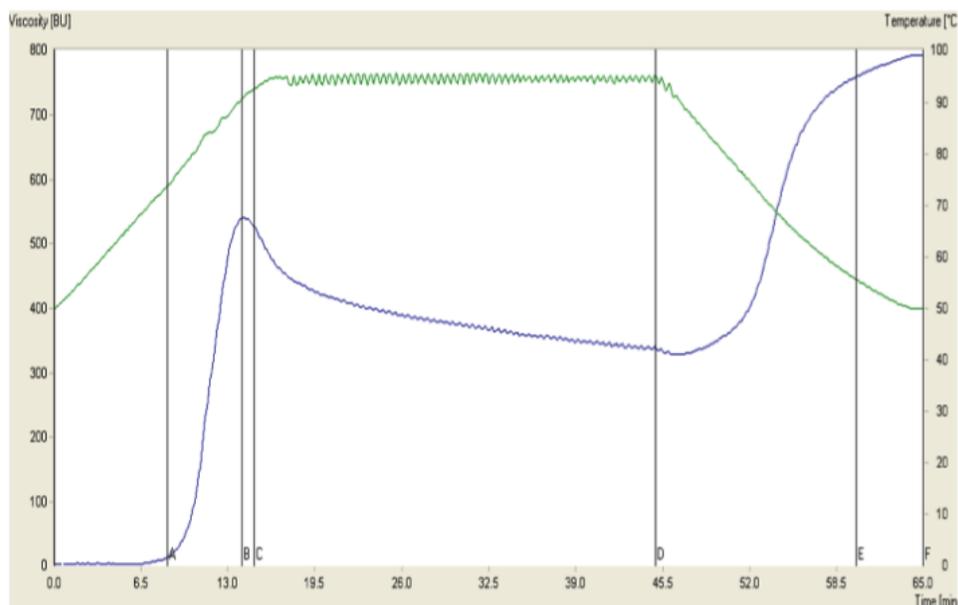
<b>Tipo de almidón</b>	<b>Maíz</b>
<b>Amilosa</b>	27 %
<b>Forma del gránulo</b>	Angular poligonal, esférico
<b>Tamaño</b>	5-25 micras
<b>Temperatura de gelatinización</b>	88-90 °C
<b>Características del gel</b>	Tiene una viscosidad media, es opaco y tiene una tendencia muy alta a gelificar

Fuente: L. G Hassan, 1A. B. Muhammad, 2R. U. Aliyu, 3Z. M. Idris, 4T. Izuagie, 1K.J. Umar and 1N.A. (2017) Hidrato de carbono formado por una larga cadena de monosacáridos. Sani. Department of Pure and Applied Chemistry, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria.

Al observar los valores de la viscosidad obtenidos se evidencia en la tabla 1 como al ir aumentando la temperatura de la solución también aumenta la viscosidad pero no se trata de pequeños cambios si no de grandes cambios, ya que de 60°C a 70°C la viscosidad es 24 veces más grande y estos cambios de la viscosidad se pueden ver en todas las temperaturas, esto se presenta ya que a mayor temperatura más y más gránulos de almidón se hidratan formando agregados hidratados y cadenas de carbohidratos dispersas las cuales rodean a los agregados haciendo que la viscosidad vaya en aumento como se puede observar en la Figura 17.

Estos resultados de viscosidad son los esperados, como se puede observar en la tabla 2 la cual nos muestra las propiedades que presentan la mayoría de los almidones de maíz para los cuales la temperatura de gelatinización se encuentra entre 88-90°C aunque esto depende del tipo de maíz, su origen o si ha sufrido alguna alteración genética.

**Figura 17.** Curva teórica de viscosidad Brabender de un almidón de maíz.



Fuente: MARÍA SILVANA LISI. TUCUMÁN. 2012. CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES DE MAÍZ: NATIVO Y MODIFICADOS. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA. Facultad de Ciencias Químicas

En el caso de la retrogradación esta se observó después de 24 horas para cada una de las soluciones, la solución a 60°C no presentó cambio al dejarla, este solo se precipitó el almidón que estaba en la solución haciendo que fuera fácil distinguir dos fases; la de almidón de color opaco y la del agua, la cual era transparente pero con un poco de agitación estas volvían a integrarse en una sola fase.

La solución de 70°C y 80°C presentan formas semisólidas las cuales estaban inmersas en el agua que se encontraba en exceso, algo similar a ocurrió con la solución a 90°C; en esta se presenta un bloque completo de gel rígido el cual también estaba inmerso en el exceso de agua presente en la solución, este comportamiento es debido a que las cadenas lineales de carbohidrato se orientan paralelamente y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos.

### 3. PARÁMETROS DE LAS MEZCLAS

Para la obtención de materiales poliméricos biodegradables que contengan almidón puede usarse la incorporación de polímeros sintéticos y otros polímeros como alcohol polivinílico y ácido poliláctico debido a que el uso del almidón como único componente para la elaboración de una película, produce materiales quebradizos y muy sensibles al agua, con propiedades pobres, por ello con el fin de producir un material con mejores propiedades es necesario combinar el almidón con otros polímeros con el fin de producir un material con mejores propiedades, en general, los polímeros a utilizar en este tipo de películas suelen agregarse en un rango entre el 10 y el 40 % p/p de la mezcla<sup>72</sup>.

Aunque parezca sencillo, la mezcla de dos clases diferentes de polímeros puede ser difícil de llevar a cabo, en la mayoría de los casos, al trata de mezclar dos clases de polímeros se obtiene dos fases debido a que los polímeros forman mezclas inmiscibles las cuales pueden ser de utilidad para la obtención de un material con propiedades intermedias entre las de los polímeros.

Existen dos métodos para las mezclas de polímeros, el primer método consiste en disolver dos polímeros en el mismo solvente y luego esperar que el solvente se evapore y cuando esto ocurra se obtendrá una mezcla, este método es el más utilizado a nivel de laboratorio; el segundo método es usado para hacer mezclas en grandes cantidades o nivel industrial, en el cual se calienta los dos polímeros juntos hasta llegar por encima de las temperaturas de transición vítrea de ambos y en este punto los polímeros se encontrarán fundidos y viscosos y podrán ser mezclarlos y se obtendrá una buena mezcla.<sup>73</sup>

De acuerdo al desarrollo experimental, las variables de respuesta, las variables independientes, las variables fijas y teniendo en cuenta los recursos de los que se dispone, se determinó el número de tratamientos. Luego de desarrollar la metodología expuesta en este capítulo, se obtuvieron los resultados de la experimentación que se analizaron respectivamente para seleccionar la temperatura más adecuada para la obtención de las mezclas poliméricas y así mismo la elaboración de las películas.

---

<sup>72</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2012. En revista biotecnología Vol 10 No1 (182-192). [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>.

<sup>73</sup> FERNANDEZ Iraima. Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera. [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/publicados/fernandez.pdf>

### 3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se planteó el desarrollo experimental para el efecto de la concentración de los componentes de la mezcla en la película a obtener, a su vez se plantearon detalladamente las variables independiente, las variables fijas, los factores perturbadores y finalmente el modelo de diseño experimental.

#### 3.1.1 Variables independientes.

- Concentración de la glicerina: Hay que considerar la concentración del plastificante ya que puede mejorar la flexibilidad del material. Teniendo en cuenta las referencias que se especifican a continuación se tomaron los valores para el porcentaje de concentración en la solución los cuales fueron entre 5 % y 25% <sup>74</sup> y se evaluaron empezando en 5% y subiendo 5% hasta llegar a 25%.
- Concentración del almidón: Este por supuesto es el componente principal de la mezcla ya que es el que se polimerizará, en general, los polímeros a utilizar en este tipo de películas suelen agregarse en un rango entre el 10 y el 40 % p/p de la mezcla<sup>75</sup>. (Enríquez, Velasco y Ortiz (2012)), sin embargo este porcentaje se tiene en cuenta cuando hay más de un polímero, como la película que se quiere evaluar contiene solo un polímero se tomaron los valores en un rango de 5 al 25% y se evaluaron empezando en 5% y subiendo 5% hasta llegar a 25%.<sup>76</sup>.
- Concentración del agua. En la formulación el agua se utiliza como solvente del almidón y además también cumple la función de plastificante del mismo.

El procedimiento planteado en el artículo de ALMA VERÓNICA GARCÍA QUIÑÓNEZ (ENERO 2015), del cual se pudo determinar que para el desarrollo de la película es de gran importancia la relación entre el porcentaje de agua, almidón y glicerina con esta información sobre los resultados de las pruebas de tensión realizadas en el artículo se propuso el porcentaje de agua que se encuentra en un

---

<sup>74</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012. En revista *biotecnología* Vol 10 No1 (182-192). [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

<sup>75</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012. En revista *biotecnología* Vol 10 No1 (182-192). [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

<sup>76</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012. En revista *biotecnología* Vol 10 No1 (182-192)

rango del 70 al 80%<sup>77</sup>, se evaluó empezando en 70% y subiendo 5% hasta llegar a 80%.

**3.1.2 Variables fijas.** Las variables que permanecieron constantes en todas las mezclas y elaboración de las películas son:

- Temperatura: La temperatura adecuada para la obtención de la película es de 90°C, que fue determinada en la caracterización del almidón ya que a esta temperatura el almidón maíz alcanza la etapa de gelificación.
- Velocidad de agitación: La velocidad de agitación se toma como un factor fijo debido que durante la elaboración de las películas es importante evitar salpicaduras y por lo tanto pérdida de la solución, sin embargo este factor puede ser variado sin afectar el resultado de la película, para este caso se utilizó una velocidad constante de 900 RPM que fue la velocidad más alta que se puso utilizar sin ocasionar salpicaduras ni pérdidas.

**3.1.3 Factores perturbadores.** La consistencia del gel, la uniformidad y el tiempo de secado también se ve influenciado por las siguientes condiciones.

- Tiempo de agitación: El tiempo de agitación oscila entre los 5 y 10 minutos, este depende de la cantidad de almidón en la mezcla, ya que el tiempo de agitación debe asegurar la gelificación completa de todos los gránulos de almidón, este aspecto se identificó por medio de la apariencia que toma durante la agitación de la mezcla.
- Tiempo de secado: El tiempo de secado dependió tanto de la cantidad de agua en la mezcla como en la disponibilidad de equipos utilizados para este fin en el laboratorio.

Las anteriores condiciones no se tuvieron en cuenta en la presente investigación debido a que no afecta directamente el resultado al que se quería llegar, debido a que el tiempo de agitación se mantenía hasta lograr la gelatinización del almidón y el tiempo de secado es determinado por la cantidad de agua restante después del proceso de gelatinización haciendo que estos dos factores estén relacionados por lo cual al fijar una cantidad de almidón y agua para la elaboración de las mezclas se minimiza el efecto de estos dos factores.

---

<sup>77</sup> GARCÍA Alma. obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz.2015. en escuela especializada en ingeniería itca – fepade dirección de investigación y proyección social programa de investigación aplicada

**3.1.4 Variables respuesta.** En la elaboración de las películas es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos cualitativos:

- Consistencia del gel: Debe estar en estado semi-sólido que no sea muy viscoso.
- Uniformidad en el momento de moldear: Al ser un gel no muy viscoso este tendrá la capacidad de al ser agregado en un recipiente (molde) poder ocupar todo el volumen de forma uniforme obteniendo una película de un grosor parejo.

**3.1.5 Modelo experimental y número de tratamientos.** Como se puede observar en la tabla 3 se presenta una diferencia de niveles en las variables independientes a evaluar por lo tanto, se determinó el modelo experimental realizando una tabla (tablas 4 y 5) donde se presentan todas las combinaciones posibles en las mezclas, sin embargo para la obtención de tratamientos se requiere tener en cuenta las siguientes restricciones:

- La sumatoria de los porcentajes los componentes debe ser del 100%.
- Ningún componente puede tener una composición del 0%.

**Tabla 3.** Factores y dominios experimentales

Factores (p/p)	Dominio experimental				
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
%Agua	70	75	80	—	—
%Glicerina	5	10	15	20	25
% Almidón	5	10	15	20	25

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 4.** Combinaciones posibles para las mezclas

Combinaciones			Combinaciones			Combinaciones		
%Agua	%Glicerina	%Almidón	%Agua	%Glicerina	%Almidón	%Agua	%Glicerina	%Almidón
70	5	5	70	10	5	70	15	5
70	5	10	70	10	10	70	15	10
70	5	15	70	10	15	<b>70</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
70	5	20	<b>70</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	70	15	20
<b>70</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	70	10	25	70	15	25
75	5	5	75	10	5	75	15	5
75	5	10	75	10	10	<b>75</b>	<b>15</b>	<b>10</b>
75	5	15	<b>75</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	75	15	15
<b>75</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	75	10	20	75	15	20
75	5	25	75	10	25	75	15	25
80	5	5	80	10	5	<b>80</b>	<b>15</b>	<b>5</b>
80	5	10	<b>80</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	80	15	10
80	5	15	80	10	15	80	15	15
80	5	20	80	10	20	80	15	20
80	5	25	80	10	25	80	15	25

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Continuación combinaciones posibles para las mezclas

Combinaciones			Combinaciones		
%Agua	%Glicerina	%Almidón	%Agua	%Glicerina	%Almidón
70	20	5	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>5</b>
<b>70</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	70	25	10
70	20	15	70	25	15
70	20	20	70	25	20
70	20	25	70	25	25
<b>75</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	75	25	5
75	20	10	75	25	10
75	20	15	75	25	15
75	20	20	75	25	20
75	20	25	75	25	25
80	20	5	80	25	5
80	20	10	80	25	10
80	20	15	80	25	15
80	20	20	80	25	20
80	20	25	80	25	25

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente se obtiene un total de 12 tratamientos, los cuales se pueden observar en la tabla 6

**Tabla 6.** Número de tratamientos totales para la elaboración de películas

%Agua	%Almidón	%Glicerina
70	5	25
70	10	20
70	15	15
70	20	10
70	25	5
75	5	20
75	10	15
75	15	10
75	20	5
80	5	15
80	10	10
80	15	5

Fuente: elaboración propia.

### 3.2 PROCEDIMIENTO

Para la elaboración de las películas se siguió el procedimiento planteado en la patente de Malinkina Olga Nikolaevna, Papkina Viktoriya Yurevna, Shipovskaya Anna Borisovna. (2017)<sup>78</sup>, Sin embargo al tratarse de un procedimiento realizado por medio de una extrusora no se obtuvo los resultados esperados al implementarlo en el laboratorio, por este motivo se usó el procedimiento planteado en el artículo de ALMA VERÓNICA GARCÍA QUIÑÓNEZ (ENERO 2015) como complemento del primer procedimiento, sin embargo se utilizó la temperatura determinada anteriormente en la caracterización del almidón, debido a que esta temperatura varía dependiendo del origen tipo y otros aspectos.

Una vez obtenidos los resultados se realizó un estudio cualitativo, esta valoración visual la lleva a cabo la ingeniera Marta Acosta del laboratorio de Nanotecnología y Biotecnología de Tecnoparque.

Por último, de acuerdo con esta información y teniendo en cuenta que las variables respuesta dependen una de la otra, en este capítulo se determinaron las condiciones finales para la elaboración de las mezclas y películas poliméricas.

---

<sup>78</sup> NIKOLAEVNA Olga, YUREVNA Papkina y BORISOVNA Shipovskaya. composition for obtaining biodegradable polymer material and biodegradable polymer material on its basis.2017. En número de publicación: 0002669865 fecha de publicación: 16.10.2018 tipo de publicación: c1 cip: c08k 3/00 c08l 29/04 c08l 101/16 c08k 5/05 c08l 3/02.

### 3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

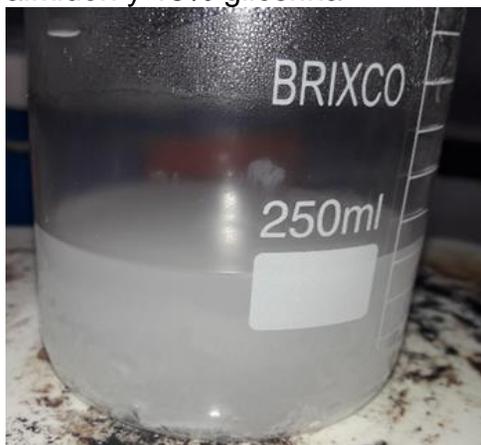
Los resultados del diseño experimental planteado se encuentran consignados en la tabla 7.

**Tabla 7.** Resultados películas de almidón

%Agua	%Almidon	%Glicerina	Consistencia		Uniformidad		Secado	
			Ensayo	Replica	Ensayo	Replica	Ensayo	Replica
70	5	25	Si	Si	Si	Si	3 días	4 días
70	10	20	Si	Si	No	No	NA	NA
70	15	15	Si	Si	No	No	NA	NA
70	20	10	No	No	NA	NA	NA	NA
70	25	5	No	No	NA	NA	NA	NA
75	5	20	Si	Si	Si	Si	5 días	6 días
75	10	15	Si	Si	No	No	NA	NA
75	15	10	No	No	NA	NA	NA	NA
75	20	5	No	No	NA	NA	NA	NA
80	5	15	Si	Si	Si	Si	7 días	8 días
80	10	10	Si	Si	No	No	NA	NA
80	15	5	No	No	NA	NA	NA	NA

Fuente: elaboración propia.

**Figura 18** .Mezcla 70%agua, 15% almidón y 15% glicerina



Fuente: elaboración propia.

**Figura 19** .Mezcla 70%agua, 5% almidón y 25% glicerina



Fuente: elaboración propia.

**Figura 20.** Pelicula de almidón 70% agua, 5% almidón y 25% glicerina



Fuente: elaboración propia.

Como resultado de esto se obtuvo que muchas de las composiciones cumplían con el primer aspecto de la consistencia del gel (figura 18 y 19), sin embargo en la figura 18 se puede observar unas burbujas en el fondo del recipiente las cuales se generan debido a la alta viscosidad de la mezcla que ocasiona que al ponerlos en un recipiente (molde) no tenga la fluidez necesaria para que el recipiente se llene con uniformidad a diferencia de la muestra de la figura 19, así después de esto solo tres composiciones cumplieron estos requisitos y se decidió usar la composición con el menor tiempo de secado (figura 21), cabe resaltar que las tres composiciones que si cumplieron con el requisito se sometieron a un equipo de secado con una temperatura de 50°C.

Según la tabla 7, se evidencia que la composición con menor tiempo de secado es la 70% agua, 5% almidón y 25% glicerina.

### **3.4 PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS POLIMÉRICAS: ALMIDÓN/ALCOHOL POLIVINÍLICO (PVOH) Y ALMIDÓN/ÁCIDO POLILÁCTICO**

En la elaboración de las mezclas de polímeros también son necesarias otras sustancias como el plastificante el cual es una sustancia de viscosidad mayor a la del agua que se adiciona a la mezcla con el fin de mejorar la flexibilidad del material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares, entre las sustancias que puede ser usadas como plastificantes podemos encontrar el agua, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, amidas y mezclas entre estos, siendo los plastificantes de uso más común los polioles,

especialmente el glicerol o glicerina, “el porcentaje de inclusión de los plastificantes se encuentra entre el 5 y 25 %.”<sup>79</sup>

Los agentes acoplantes, también llamados mediadores de fase o compatibilizadores son una sustancia que tiene como función servir como mediador entre las dos fases que se forma entre los polímeros, encontrado que los agentes acoplantes de uso más común son principalmente grupos epóxicos y grupos de ácidos anhídridos, puede usarse en rangos que varían desde el 5 hasta el 50 %<sup>80</sup>. Se usara el ácido cítrico, alcohol etílico y anhídrido maléico como agentes acoplantes y compatibilizadores ya que estos se utilizan como homogeneizadores para distribuir uniformemente los componentes en la composición del polímero.

Los aditivos en una mezcla polimérica se adicionan dependiendo del resultado que se desea obtener, estos puede cumplir con la función de estabilizantes contra rayos ultravioleta (UV), sustancias ininflamables, fungicidas, herbicidas, antioxidantes, estabilizantes, y otros, pueden estar en concentraciones que van desde 0,05 a 5 %<sup>81</sup>. Como aditivos tenemos el aceite de coco como auxiliar de procesamiento y regulador de viscosidad y ácido aspártico en combinación con ácido clorhídrico para formar clorhidrato de ácido aspártico el cual ayuda a reducir la temperatura de producción del material de 120-140°C a 90-100°C.

---

<sup>79</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012. En revista *biotecnología* Vol 10 No1 (182-192). [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

<sup>80</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012. En revista *biotecnología* Vol 10 No1 (182-192). [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

<sup>81</sup> ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012. En revista *biotecnología* Vol 10 No1 (182-192). [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

**Cuadro 1.** Lista de los componentes de la mezcla

<b>Componentes</b>	<b>Función</b>
<b>Almidón</b>	Componente principal de la mezcla el cual genera la matriz polimérica por gelatinización obteniendo TPS.
<b>PVOH y PLA</b>	Polímeros de refuerzo que aportan propiedades al TPS.
<b>Agua</b>	Disolvente de los polímeros el cual también ayuda a la plastificación del material.
<b>Glicerina</b>	Principal plastificante de la mezcla de polímero.
<b>Ácido acético y Anhídrido acético</b>	Principales compatibilizadores para obtener una mezcla polimérica de una sola fases.
<b>Ácido cítrico</b>	Agente acoplante que también ayuda a la conservación y a la no oxidación de la mezcla.
<b>Etanol</b>	Agente acoplante que también ayuda a darle una distribución homogénea a los polímeros de la mezcla.
<b>Aceite de coco</b>	Agente mediador de la viscosidad de la mezcla y ayuda al desmolde de esta.
<b>Ácido aspártico y Ácido clorhídrico</b>	Obtención de cloruro aspártico el cual disminuye los requerimientos energéticos de las mezclas.

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la masa de los componentes (cuadro 1) se tuvo en cuenta que estas se obtienen con respecto a la masa total de la mezcla, de esta manera con el porcentaje que debe tener cada componente establecido teóricamente, se determina la masa final que se debe adicionar a la mezcla principal de 100g de almidón, agua y glicerina. Con la masa del PLA o PVOH, siendo esta calculada con respecto a la masa de almidón (5g) la cual, se multiplicó por los porcentaje (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100%) dando como resultado la masa de los polímeros que se debe adicionar a la mezcla, se ve afectado el porcentaje del agua, glicerina y almidón con respecto a la masa total de la mezcla sin ser estas variaciones significativas como se muestra en las tabla 8 y 9.

**Ecuación 1.** Cálculo de la masa de las sustancias que componen la mezcla

$$\%masa = \frac{masa\ de\ la\ sutancia}{masa\ de\ la\ mezcla} * 100\%$$

$$masa\ de\ la\ sustancia = \frac{\%masa}{100} * masa\ de\ la\ mezcla$$

Fuente: Atarés Huerta, Lorena. Fracción másica y fracción molar. Definiciones y conversión. Departamento de Tecnología de Alimentos. ETSIAMN (Universidad Politécnica de Valencia) [Consultado el OCT 23,2019]. Archivo PDF. Disponible en:<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12649/10.%20Art%C3%ADculo%20docente.%20Fracci%C3%B3n%20m%C3%A1sica%20y%20fracci%C3%B3n%20molar.%20Definiciones%20y%20conversi%C3%B3n.pdf?sequence=1>

**Tabla 8.** Porcentaje de los componentes p/p añadidos con respecto al almidón

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PLA	100	5,0	0,0
Aditivos	2	0,0	0,0
Anhídrido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 9.** Porcentajes p/p de todos los componentes.

<b>Componentes</b>	<b>Masa</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	70,0	65,4
Almidón	5,0	4,7
Glicerina	25,0	23,4
PLA	5,0	4,7
Aditivos	2,0	1.87
Anhídrido Acético	1,0	0.93
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2
<b>Masa total</b>	107	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se muestra otros parámetro determinados como: la temperatura, la velocidad de agitación, el tiempo de agitación y la temperatura y tiempo de secado para obtener una película de almidón (cabe resaltar que aunque esté último fue determinado, debido a la disponibilidad del equipo requerido para dicho fin no fue posible aplicar este parámetro en toda las películas).

**Tabla 10.** Parámetros para la obtención de películas

Temperatura	90°C
Velocidad de agitación	900RPM
Tiempo de agitación	10 min
Tiempo de secado	3 días
Temperatura de secado	50°C

Fuente: elaboración propia.

## 4. ELABORACIÓN DE PELÍCULAS ALMIDÓN-ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA) Y ALMIDÓN-ALCOHOL POLIVINÍLICO

En el presente capítulo se determinó el desarrollo experimental a seguir, tanto el número de tratamientos, una única variable respuesta para determinar cuál de las películas obtenidas presenta una mejor estabilidad térmica.

### 4.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

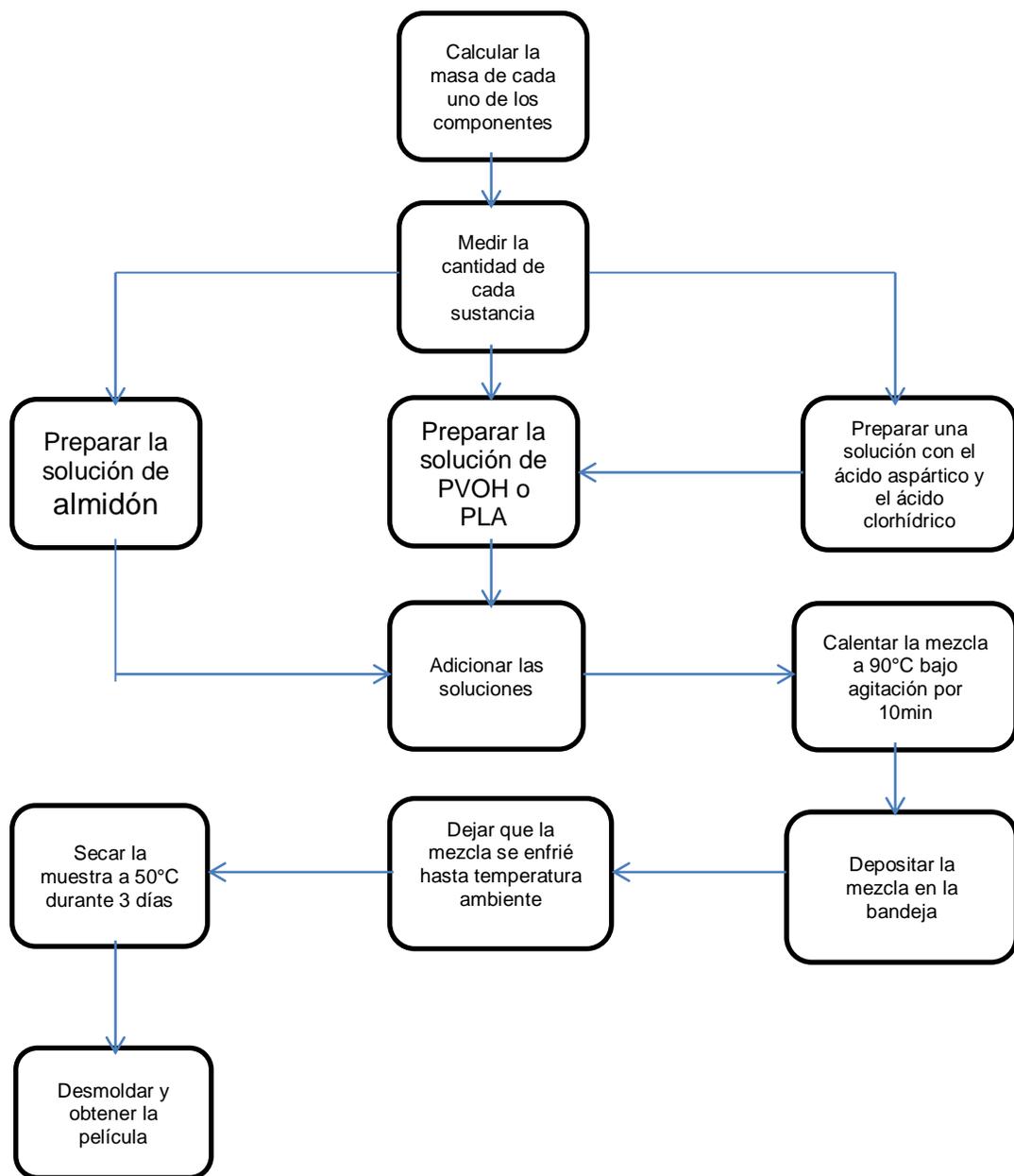
Para el desarrollo experimental se optó por un diseño simple de 10 tratamientos (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100%) con una réplica para cada uno.

**4.1.1 Procedimiento para la elaboración de las películas.** El proceso para la elaboración de las películas se tomó de Malinkina Olga Nikolaevna, Papkina Viktoriya Yurevna, Shipovskaya Anna Borisovna. (2017)<sup>82</sup> ajustándolo a los parámetros obtenidos para la elaboración de las películas y se describe en el siguiente diagrama de proceso (figura 21), los parámetros que se utilizaron fueron los descritos en el capítulo anterior.

---

<sup>82</sup> NIKOLAEVNA Olga, YUREVNA Papkina y BORISOVNA Shipovskaya. composition for obtaining biodegradable polymer material and biodegradable polymer material on its basis.2017. En número de publicación: 0002669865 fecha de publicación: 16.10.2018 tipo de publicación: c1 cip: c08k 3/00 c08l 29/04 c08l 101/16 c08k 5/05 c08l 3/02

**Figura 21.**Diagrama de proceso para la elaboración de mezclas poliméricas



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2 ELABORACIÓN DE PELÍCULAS ALMIDÓN- ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)

El PLA es un biopolímero termoplástico utilizado para la producción de hilo para sutura, implantes, cápsulas para la liberación lenta de fármacos, prótesis, producción de envases y empaques para alimentos y producción de películas para la protección de cultivos, este biopolímero ha despertado el interés de investigadores, productores y procesadores ya que fuera de su degradabilidad, se

ha encontrado que puede ser un gran competidor frente a otros plásticos de origen petroquímico por su amplio rango inusual de propiedades.<sup>83</sup>

Las propiedades físicas y mecánicas dependen de la composición del polímero (Tabla 11), de su peso molecular, su cristalinidad y su configuración isométrica D y L. El PLA es un material con alto punto de fusión y alta cristalinidad al utilizar L-PLA, resulta un material con alto punto de fusión y alta cristalinidad, la temperatura de procesamiento está entre 60 y 125°C y depende de la proporción de D o L ácido láctico en el polímero.<sup>84</sup>

La barrera al agua y al CO<sub>2</sub> del PLA es bastante buena, la barrera al O<sub>2</sub> es considerada buena, el PLA puede ser un material duro o blando, rígido o flexible y las resinas de PLA pueden ser sometidas a esterilización con rayos gama y rayos ultravioleta. Algunas limitaciones del PLA, comparado con otros empaques plásticos, es la baja temperatura de distorsión la cual corresponde a la temperatura máxima que puede soportar la resina sin dañarse o perder propiedades, esto puede ser un problema en aplicaciones donde el material de empaque es expuesto a picos de calentamiento.<sup>85</sup>

---

<sup>83</sup> SERNA Liliana. RODRIGUEZ Aida. ALBAN Fred. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. VOLUMEN 5 - No. 1 - Octubre de 2003. [Consultado en: AGO 08,2019].Archivo PDF. Disponibles en: file:///C:/Users/Administrador/Downloads/2301-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4839-2-10-20170520.pdf

<sup>84</sup> SERNA Liliana. RODRIGUEZ Aida. ALBAN Fred. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. VOLUMEN 5 - No. 1 - Octubre de 2003. [Consultado en: AGO 08,2019].Archivo PDF. Disponibles en: file:///C:/Users/Administrador/Downloads/2301-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4839-2-10-20170520.pdf.

<sup>85</sup> SERNA Liliana. RODRIGUEZ Aida. ALBAN Fred. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. VOLUMEN 5 - No. 1 - Octubre de 2003. [Consultado en: AGO 08,2019].Archivo PDF. Disponibles en: file:///C:/Users/Administrador/Downloads/2301-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4839-2-10-20170520.pdf.

**Tabla 11.** Comparativo de las propiedades mecánicas del PLA frente a otros polímeros de uso industrial.

Polímero	Fuerza de Tensión (MPa)	Módulo de Tensión (Gpa)	Temperatura Max Usada (°C)
LDPE	6,2-17,2	0,14-0,19	65
HDPE	20-37,2	-	121
PET	68,9	2,8-4,1	204
PS	41,3-51,7	3,1	78
PA	62-82,7	1,2-2,8	-
PP	33-37,9	1,1-1,5	121
PLA(L+)	40-60	3-4	50-60

Fuente: SERNA Liliana. RODRIGUEZ Aida. ALBAN Fred. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. VOLUMEN 5 - No. 1 - Octubre de 2003. [Consultado en: AGO 08,2019]. Archivo PDF. Disponibles en: file:///C:/Users/Administrador/Downloads/2301-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4839-2-10-20170520.pdf

La mezcla biodegradable PLA y almidón, representa una sustitución muy atractiva de los materiales convencionales ya que combina la alta resistencia mecánica del PLA con la elevada elongación a ruptura del almidón platicado. Sin embargo, debido al carácter hidrófobo del PLA y el carácter hidrófilo del almidón, existe alta inmiscibilidad entre las fases promoviendo baja interacción y adhesión interfacial, conllevando a propiedades mecánicas deficientes.<sup>86</sup>

**4.2.1 Resultados y análisis de resultados.** Las mezclas de almidón y ácido poliláctico se realizan siguiendo el procedimiento descrito en la figura 21 debido a que se conocía el carácter hidrófilo del ácido poliláctico ya que cada reacción de polimerización de este genera una molécula de agua, cuya presencia afecta la formación de la cadena polimérica, hasta el punto que sólo se obtienen pesos moleculares muy bajos, lo cual permitiría usar al agua como solvente según Fred Albán A, (2003).<sup>87</sup>

Pero no fue posible usar el agua para disolver los polímeros y generar la mezcla polimérica, debido a que el PLA de alto peso molecular que se produce a partir del éster de dilactato (lactida) por polimerización por apertura de anillo (figuras 6 y 7), no posee esta característica de ser hidrófilo debido a que en este proceso dos moléculas de ácido láctico se someten a una esterificación simple y luego catalíticamente se cicla para hacer el éster de dilactato cíclico, y a pesar de que la

<sup>86</sup> HUNEULT, M. y LI, H.; Morphology and ropertiesofcompatibilizedpolylactide/thermoplastic starch blends.2007. En Polymer 48, 270-280.

<sup>87</sup> ALBÁN Fred. Ácido Poliláctico (PLA). 2003. En Biblioteca Universidad del Valle propiedades y Aplicaciones. Bacteriología VOLUMEN 5 - No. 1.

dimerización también genera agua, puede ser separada antes de la polimerización debido a una caída significativa en la polaridad por lo cual pierde la propiedad de interactuar con el agua según Pamela Molin.<sup>88</sup>

Se realizó una revisión bibliográfica para saber que otros solventes pueden ser utilizados, se encontró que el cloroformo y la acetona pueden funcionar como solventes para el PLA pero se descartó la idea de usar cloroformo ya que para obtener la mezcla polimérica es necesario evaporar el solvente y ya que cloroformo es agresivo para el medio ambiente y para la salud humana.

En cuanto al uso de acetona como solvente, para la obtención de 5g de PLA fueron necesarios 500ml de acetona, lo cual no fue una solución al problema debido a que según el artículo 93 de la Ley 30 de 1986 se establece una regulación en el consumo o distribución de acetona al ser una sustancia usada en la producción de drogas, aun así se intentó obtener una película polimérica, sin embargo, no se obtuvo el resultado esperado debido a que la acetona no permitió la gelificación del almidón (figura 22) ya que esta posee una temperatura de ebullición de 56°C y la temperatura necesaria para la gelificación del almidón es de 90°C haciendo imposible la obtención de la película.

**Figura 22.** Película de Almidón/PLA usando como solvente acetona



Fuente: elaboración propia.

---

<sup>88</sup> MOLINA Pamela, SILVA Myrian y VALLE Lauro. Preliminary study of compatibilizers in PLA-achira (*Canna edulis*) starch blends. 2017. En Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Ecuador. [Consultado en JUL 19, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Dialnet-EstudioPreliminarDeCompatibilizantesEnMezclasPLAal-6550726.pdf>

### 4.3 ELABORACIÓN DE PELÍCULAS ALMIDÓN-ALCOHOL POLIVINÍLICO (PVOH)

El alcohol polivinílico tiene excelentes propiedades para formar películas (Tabla 12), como emulsionante y como adhesivo, también es resistente al aceite, grasas y disolventes, es inodoro y no tóxico, tiene alta resistencia y flexibilidad, así como alta propiedades de barrera para el oxígeno y los aromas. El PVOH es totalmente degradable y se disuelve rápidamente., tiene un punto de fusión de 230°C y se descompone rápidamente por encima de 200°C (ver anexo I). El poli (alcohol de vinilo) es soluble en agua, se disuelve lentamente en agua fría, pero lo hace más rápidamente a temperaturas elevadas, y puede normalmente disolverse a más de 90°C.<sup>89</sup>

Adicionalmente, el PVOH es un material biodegradable ampliamente utilizado en aplicaciones de empaques, biotecnología y biomédica debido a su amplia versatilidad, buenas propiedades de barrera, flexibilidad, facilidad de procesabilidad y baja toxicidad.<sup>90</sup>

En películas basadas en mezclas de almidón/alcohol polivinílico (p/p) y usando glicerina como plastificante se observa en la tabla una mayor resistencia a la tensión y elongación a la rotura (en general, mejores propiedades mecánicas) y menor absorción de agua, solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua (en general, mayor resistencia al agua) debido a la fuerte interacción intermolecular que se forma entre el almidón y el alcohol polivinílico se puede mejorar las propiedades.

---

<sup>89</sup> REYES Anderson. VEGA Magali. Influenciaa del polvo esmerilado de cuero, alcohol polivinilico y ácido bórico en la fabricación de un material compiuesto con una capacidad higroscópica.2016. [Consultado el: AGO 17,2019]. Archivo PDF. Disponible en:

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/1843/Reyes%20Paredes%2C%20Anderson%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

<sup>90</sup> REYES Anderson. VEGA Magali. Influenciaa del polvo esmerilado de cuero, alcohol polivinilico y ácido bórico en la fabricación de un material compiuesto con una capacidad higroscópica.2016. [Consultado el: AGO 17,2019]. Archivo PDF. Disponible en:

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/1843/Reyes%20Paredes%2C%20Anderson%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**Tabla 12.** Propiedades mecánicas de PVOH

	Valor típico	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a la tracción	3860 Mpa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-
Esfuerzo de tracción a la rotura	78 Mpa	ISO 527 (50 mm/min)
alargamiento a la deformación	-	-
Alargamiento a la rotura	9,90%	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-
Modula de flexión	-	-
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-
Resistencia a la prueba de impacto Charpy, sin mella (a 23 °C)	1,6 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179

Fuente: Grupo Transmen Quim GTM. Ficha técnica del PVOH Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3 [Consultado el: AGO 22,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.gtm.net/images/industrial/a/ALCOHOL%20POLIVINILICO.pdf> .Anexo I

Siguiendo el proceso descrito en este capítulo y los parámetros y composiciones del capítulo anterior se pudo obtener las películas, a las cuales se midió como variable de respuesta la estabilidad térmica después de ser sometidas a un proceso de esterilización por calor húmedo. Al evaluar estos dos parámetros se buscaba obtener la información de cuál de las composiciones presentaba las mejores propiedades para llevar a cabo las pruebas de caracterización.

**4.3.1 Pruebas de esterilización.** Como se había mencionado antes se realizó una prueba de esterilización sobre las películas obtenidas, la esterilización se llevó a cabo por medio de una autoclave que funciona por medio de calor húmedo, este proceso se da a 121°C por 20 min en una autoclave. Era necesario realizar esta prueba sobre las películas debido a la aplicación que se le pretende dar a estas, además al tratarse de un proceso a alta temperatura puede llegar a generar degradación térmica en las películas.

La temperatura afecta al envejecimiento de los materiales poliméricos, un aumento con la temperatura lo que favorece el progreso de las reacciones degradantes. La estabilidad térmica está indicada por la temperatura a la que se nota los primeros indicios de descomposición, la estabilidad depende del tipo de enlaces químicos presentes en el polímero, las reacciones que experimentan los polímeros a elevadas temperaturas son de dos tipos de ruptura de la cadena y de descomposición.

Para comprobar la estabilidad térmica de la película frente al proceso de esterilización se sometieron las películas a este proceso.

#### 4.3.2 Resultados y análisis de resultados.

**Figura 23.** Película con 9% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 24.** Película con 17% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 25.** Película con 23% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 26.** Película con 28% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 27.** Película con 33% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 28.** Película con 37% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 29.** Película con 41% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 30.** Película con 44% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 31.** Película con 47% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

**Figura 32 .**Película con 50% de PVOH



Fuente: elaboración propia.

Al obtener las películas poliméricas se observó como las composiciones a las cuales se las agrego 10%, 20%, 30% y 40% las cuales corresponden al porcentaje mencionado en las figuras (23, 24, 25 y 26) respectivamente de PVOH respecto al almidón, no se pudo obtener una película para llevar a cabo las pruebas, esto atribuido a que la baja cantidad de PVOH dentro de las mezclas no permitía la correcta plastificación del almidón provocando que aunque se sometiera a secado durante 15 días a una temperatura de 50°C no se obtuviera más que una masa de consistencia semisólida y bastante adhesiva, la cual podría llegar a tener aplicaciones como adhesivo pero no es el objetivo de este trabajo por lo cual se descartó la idea de usar estas composiciones para la elaboración de películas.

Para las composiciones con un porcentaje de 50% y 60% las cuales corresponden al porcentaje mencionado en las figuras (27 y 28) respectivamente de PVOH respecto al almidón, se obtuvieron unas películas que más que parecer un plástico se asemejaban más al caucho, pero sin elasticidad debido que al intentar estirar las películas de manera manual se rompían con facilidad, además después del

secado se obtenían películas agrietadas y con fisuras en la superficie, debido a esto también se optó por descartar las películas con esta composición ya que no tenían las características necesarias para el propósito que se les quiere dar.

Así las composiciones de 70%, 80%, 90% y 100% las cuales corresponden al porcentaje mencionado en las figuras (29, 30, 31 y 32) respectivamente de PVOH respecto al almidón, fueron con las que se pudo obtener las películas con las mejores características, con estas películas se llevó a cabo la prueba de esterilización y la medición de permeabilidad al vapor de agua. En cuanto a la esterilización después de este proceso las películas con una composición de 70% y 80% (figuras 33 y 34 las dos primeras muestras) de PVOH respecto al almidón, presentaban una pérdida de sus propiedades haciendo que estas se vuelvan menos rígidas y con características de mayor adhesión, haciendo que no cumplan este requerimiento necesario para la aplicación que pretende dársele a este material.

Las composiciones de 90% y 100% (figura 33 y 34 las dos últimas muestras) de PVOH respecto al almidón, después del proceso de esterilización presentaban una pérdida de peso esto provocado por la alta temperatura del proceso de esterilización la cual hace que el polímero pierda agua provocando que también se reblandezca, además de perder la forma y la estructura, aunque esto pueda parecer una situación poco favorable no es así ya que al dejarse secar a temperatura ambiente por 24 horas se notó una mejora en el polímero puesto que se sentía más rígido, mas elástico y había desaparecido toda sensación de adhesión, al someterlo al proceso de esterilización por segunda vez estos fenómenos ya no se presentaban aun así la composición de 90% de PVOH respecto al almidón, formaba una película más delgada lo cual la hacía más elástica pero más susceptible a la ruptura.

**Tabla 13.** Resultados de la Prueba de Esterilización

Polímero	Porcentaje	Esterilización	
		Ensayo	Replica
PVOH	70	NO	NO
PVOH	80	NO	NO
PVOH	90	SI	SI
PVOH	100	SI	SI

Fuente: elaboración propia

**Figura 33.** Película con 70%, 80%, 90% y 100% de PVOH antes del proceso de esterilización



Fuente: elaboración propia.

**Figura 34.** Película con 70%, 80%, 90% y 100% de PVOH después del proceso de esterilización



Fuente: elaboración propia.

**Figura 35.** Película con 100% de PVOH después del proceso de esterilización por segunda vez



Fuente: elaboración propia.

Al observar los resultados obtenidos en la prueba de esterilización está claro que mientras mayor sea la cantidad de PVOH dentro de la mezcla polimérica mejor será la resistencia a la temperatura a la cual se lleva el proceso de esterilización, pero no es recomendable que el porcentaje de PVOH en la mezcla sea mayor al 50% debido a que nuestro objetivo es que el almidón fuera el componente principal en las películas así que podemos permitirnos ir mas haya de este porcentaje resultando ser este el que mostro mejor resultado.

Para comprobar la estabilidad térmica de la película frente al proceso de esterilización se sometieron las películas a este proceso y se observó si se

presentaba deterioro después del proceso de esterilización, al realizar este proceso se presentaba una pérdida de forma, estructura y reblandecimiento de la película aun así después de 24h se obtuvo la película con lo que parecía mejores propiedades en cuanto a su elasticidad y rigidez, al someter la película del 100% de PVOH por segunda vez (figura 35) a este proceso no se presentó ninguna alteración.

Con el paso del tiempo las películas de 90% y 100% de PVOH respecto al almidón no presentaron ningún signo de degradación, envejecimiento ni cambio de color debido a la temperatura, esto demuestra que las mezclas funcionan ya que desde el principio se planeaban las mezclas poliméricas como una solución a la baja resistencia del almidón termoplástico (TPS) frente a la temperatura lo que impedía que este pudiera ser usado en diferentes aplicaciones donde puedan presentarse temperaturas elevadas.

## **5. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LAS BIOPELÍCULAS**

Para determinar la calidad de la película obtenida almidón-PVOH es necesaria la caracterización de estas que consiste en pruebas que dependen de la finalidad y/o uso que se le va a dar a la película, en este caso como la finalidad de la película es de carácter médico las características con prioridad son las propiedades de barrera.

La primera propiedad de barrera a evaluar será la de permeabilidad al vapor de agua, debido a que es la segunda propiedad más importante en la valoración de las películas; y como en el capítulo anterior la finalidad de la prueba de esterilización era escoger la película que cumpliera con la estabilidad térmica, al ser dos películas con diferentes porcentajes de PVOH (90% y 100%) que cumplieron con esta característica, se utilizará la prueba de permeabilidad de vapor de agua para descartar una.

### **5.1. PROPIEDADES DE BARRERA**

El término barrera se refiere a la propiedad del empaque, que disminuye o elimina el paso de ciertas sustancias a través de su estructura, estas sustancias pueden ser gaseosas o líquidas. El efecto de barrera depende del espesor de la capa y de las condiciones ambientales como la temperatura, la diferencia de presiones y la humedad del aire.

Se entiende por materiales plásticos barrera a aquellos polímeros con un efecto de barrera alto, es decir con una permeabilidad lo más pequeña posible al oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, agua, aceites, grasas, aromas, entre otros. Las razones para desear que un empaque impida el paso de tales sustancias son variadas, pero la razón más común es la de proteger el contenido del empaque.

**Tabla 14. Permeabilidad de diversos polímeros**

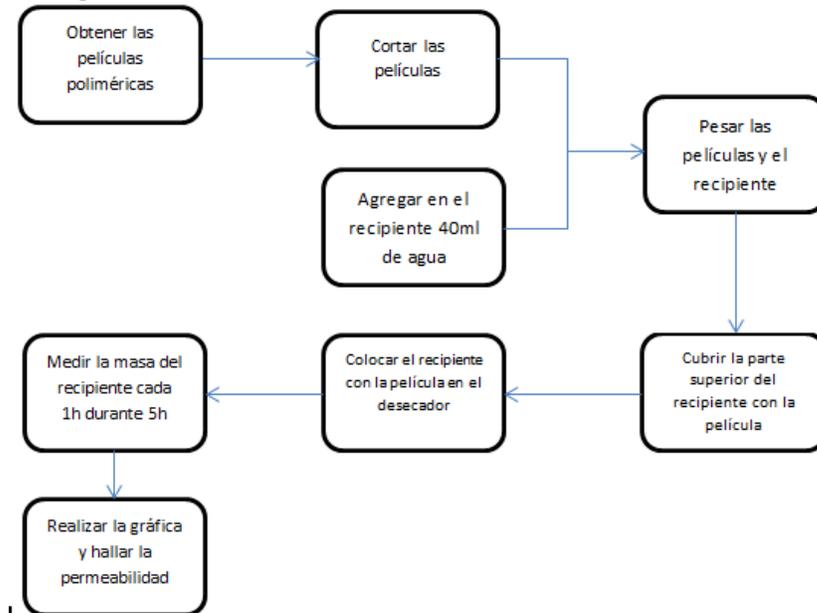
Permeabilidad a los gases (cm <sup>3</sup> /atm.m <sup>2</sup> .24h) Films 25 micras a 25°C					
Film	Transmisión de vapor de agua (g/m <sup>2</sup> .24h) 38°C/90% HR	Oxígeno	Nitrogeno	Dioxido de carbono	Resistencia a grasas y aceites
Poliéster orientado	25-30	50-130	15-18	180-390	E
Poliéster orientado recubierto de PVdC	1-2	sep-15	-	20-30	E
Nylon-6	84-3100	40	14	150-190	E
Nylon-6,6	45-90	78	6	140	E
Nylon-11	5-13	500	52	2000	E
Poliuretano (Poliéster)	400-600	800-1500	600-1200	7000-25000	E
Poliestireno orientado	100-125	5000	800	18000	E
APET: Poliéster amorfo	40-50	110-130	-	-	E
CPET: Poliéster cristalino	Las permeabilidades cambian en función del nivel de cristalización. Por cada 1% de variación en la cristalización hay un 1% de mejora en la intensidad de transmisión				
EVOH	16-18	3-5	-	-	-
PVC rígido	30-40	150-350	60-150	450-1000	E
PVC Plastificado	15-40	500-30000	300-10000	1500-4600	B
Copolimero PVdC-PVC, (saran)	1,5-5	ago-25	2-2,6	50-150	E
Poliacrilonitrilo	78	12	3	17	B
Poliétileno (LDPE)	18	7800	2800	42000	P
Poliétileno (HDPE)	7-10	2600	650	7600	B-E
Polipropileno fundido	10-12	3700	680	10000	B
Polipropileno, orientado	6-7	2000	400	8000	B-E
Polipropileno, orientado recubierto con PVdC	4-5	10-20	8-13	35-50	E
Polibutileno	8-10	5000	-	-	E
Ionómeros	25-35	6000	-	6000	E
Etileno-Acetato de Vinilo	40-60	12500	4900	50000	P

Fuente: Guía técnica a inia de envase y embalaje. [Consultado en OCT 19,2019].  
 Archivo PDF. Disponible en: Disponible en:  
<http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/>.

**5.1.1 Permeabilidad al vapor de agua.** Para evaluar las propiedades de barrera de las películas poliméricas se planteó la permeabilidad al vapor de agua por el método desecante según norma ASTM-96 presentado por DIEGO FABIÁN JOAQUI D. 2013<sup>91</sup>, con el cual con la ayuda del desecador o con las perlas desecantes (silica gel) se puede calcular la pérdida o la adición de masa por acción de la transferencia de masa en este caso representado por el vapor de agua dentro o fuera de un recipiente con la película polimérica como cubierta (figura 38 y 39). Con este método se siguió el siguiente procedimiento para medir la permeabilidad al vapor de agua de las películas obtenidas en el laboratorio.

<sup>91</sup> JOAQUI Diego y VILLADA Héctor. Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. 2013. En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Ingeniería de Alimentos. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agroindustria. Universidad del Cauca, Popayán.

**Figura 36.** Diagrama de proceso Permeabilidad al vapor de agua



Fuente: elaboración propia

Para obtener los datos de la permeabilidad al vapor de agua es necesario utilizar las siguientes formulas las cuales ayudan a obtener los valores correspondientes.

**Ecuación 2.** Calculo de la Permeabilidad al vapor de agua

$$VTVA = \frac{J}{t * A}$$

$$PVA = \frac{VTVA * L}{P_w(RH1 - RH2)}$$

VTVA: Velocidad de transición del vapor de agua.

J: Pendiente de la gráfica de masa versus tiempo.

t: Tiempo

A: Área de contacto

L: Espesor de la película

P<sub>w</sub>: Presión parcial del vapor de agua

RH1-RH2: Diferencia entre la humedad dentro y fuera del recipiente

Fuente: JOAQUI Diego y VILLADA Héctor. Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. 2013. En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Ingeniería de Alimentos. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agroindustria. Universidad del Cauca, Popayán.

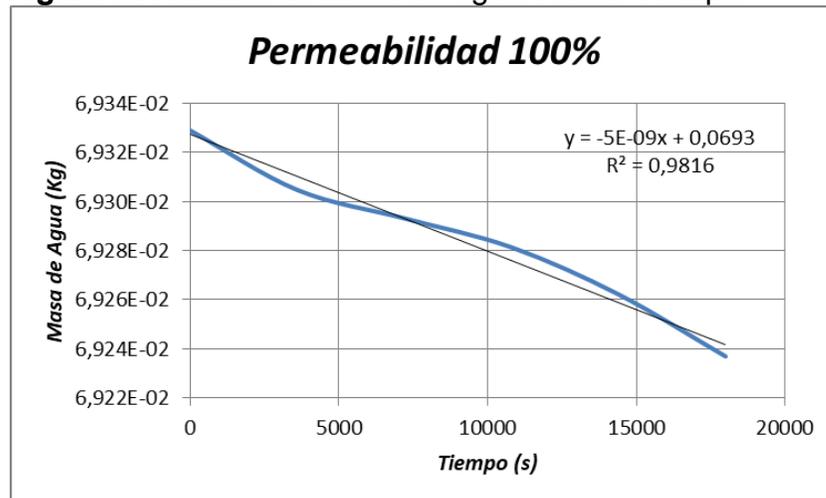
Con este procedimiento y empleando estas fórmulas se calculó (Ver anexo C, D, E y F) el valor de la permeabilidad al vapor de agua para las películas de composición de 70%, 80%, 90% y 100% de PVOH respecto al almidón, continuación se muestra el procedimiento para obtener los valores de la permeabilidad y los resultados finales de esta prueba).

**Tabla 15.** Datos de Tiempo y Masa de agua película de 100% de PVOH

Tiempo (s)	Masa de agua (Kg)
0	6,933E-02
3600	6,930E-02
7200	6,929E-02
10800	6,928E-02
14400	6,926E-02
18000	6,924E-02

Fuentes: elaboración propia.

**Figura 37.** Grafica de Masa de agua versus Tiempo



Fuentes: elaboración propia.

**Cuadro 2.** Datos necesarios para el cálculo de la permeabilidad al vapor de agua

<b>Masa recipiente</b>	3,7589E-02	Kg
<b>Diámetro</b>	0,02	M
<b>Área</b>	3,14E-04	m <sup>2</sup>
<b>Espesor</b>	2E-03	M
<b>Humedad interior</b>	75	%
<b>Humedad exterior</b>	50	%
<b>Presión parcial vapor</b>	23331,41	Pa
<b>Tiempo</b>	18000	S

Fuentes: elaboración propia.

En la gráfica de masa de agua versus tiempo (Figura 37) podemos observar la pérdida de masa de agua dentro del recipiente debido al escape del vapor de agua a través de la película polimérica a lo largo del tiempo como la curva azul, mientras la línea negra es la línea generada por la regresión lineal para obtener la ecuación que mejor se ajuste a los datos obtenidos.

Como parámetros para el cálculo de la permeabilidad al vapor de agua es necesario conocer la masa del recipiente vacío, la masa de la película y la masa de la liga que se usó como sujeción y así restársela a la masa del recipiente con agua para tener solo la masa de agua y medir las variaciones de esta a medida que pierda masa por el escape del vapor de agua a través de la película. El diámetro se refiere al diámetro de la abertura del recipiente la cual estará en contacto con la película y por donde pasara el vapor de agua, y con esto calcular al área de contacto entre la película y el vapor de agua.

La medida del espesor de la película se logró con un pie de rey digital, y ya que se usaba 100ml de la mezcla y se vertía en bandejas se pudo obtener un espesor uniforme en las películas de 0,2mm. Para la humedad en el interior del recipiente haciendo una búsqueda de información se encontró que la humedad relativa en Bogotá para el mes de octubre sería de 75%, mientras que la humedad dentro de un recipiente cerrado puede estar entre 70 y 75% por esto se dejaba el recipiente con agua 15min al aire libre y 15min serrado con la película a temperatura ambiente para garantizar una humedad de 75%.

La humedad en el exterior de este se determinó con la ayuda de un medidor de temperatura y humedad, obteniendo un valor de 50% dentro del desecador y así se determinó la humedad interna y externa para calcular la diferencia de humedad. La presión parcial del vapor de agua se tomó de tablas de presión a la temperatura promedio de Bogotá de 20°C, con esto se obtuvieron todos valores para los parámetros necesarios para calcular la permeabilidad al vapor de agua.

**Tabla 16.** Velocidad de transición del vapor de agua y Permeabilidad al vapor de agua

<b>VTVA</b>	-8,84E-10	<b>Unidades</b>
<b>PVA</b>	3,03E-18	Kg/Pa*m*s

Fuentes: elaboración propia.

Haciendo estos para las composiciones de 70%, 80%, 90% y 100% de PVOH respecto al almidón, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 17.** Resultados de la Permeabilidad al vapor de agua

Polímero	Porcentaje	Permeabilidad VA		Unidades
		Ensayo	Replica	
PVOH	70	8,08E-18	8,08E-18	Kg/Pa*m*s
PVOH	80	5,39E-18	8,08E-18	Kg/Pa*m*s
PVOH	90	5,39E-18	5,39E-18	Kg/Pa*m*s
PVOH	100	3,03E-18	3,03E-18	Kg/Pa*m*s

Fuentes: elaboración propia.

**Figura 38.** Películas de 70%, 80% y 90% listas para medir la permeabilidad al vapor de agua



Fuentes: elaboración propia.

**Figura 39.** Películas de 70%, 80% y 90% en el desecador



Fuentes: elaboración propia.

Al igual que con la prueba de esterilización la composición con un 100% de PVOH respecto al almidón, es la que consiguió el mejor resultado al presentar el valor más bajo de permeabilidad al vapor de agua, también se puede observar como al aumentar el porcentaje de PVOH de la mezcla disminuye la permeabilidad al vapor de agua, este comportamiento se debe a que el alcohol polivinílico es usado

para la elaboración de empaques de alimentos ya que posee propiedades de barrera al oxígeno y a los aromas, esto hace que al ser mezclado con almidón se pueda obtener películas con mejores propiedades de barrera.

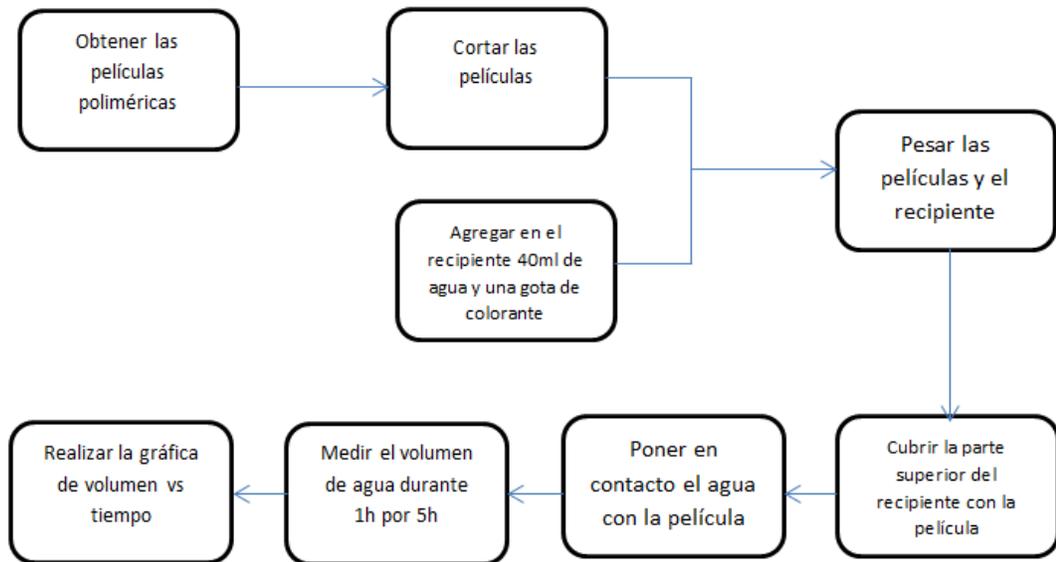
El parecido de los valores de la permeabilidad al vapor de agua se debe al hecho que para calcular los valores de permeabilidad se usa la pendiente de la gráfica de masa de agua versus el tiempo (figura 37), con lo cual aunque en cada prueba se hallan obtenido valores diferentes al graficarlo se obtiene una línea con la misma pendiente y al tener los mismos valores para los demás parámetros que componen la fórmula de permeabilidad se obtuvieron valores similares para esta.

Para la permeabilidad de la composición de 80% de PVOH respecto al almidón, esta se encuentra entre la de 70% y la de 90% por esto los valores de las pruebas son diferentes entre sí, no como en las demás donde la prueba de permeabilidad en ambos casos nos arroja un valor similar, esto se debe a la cercanía que tiene la permeabilidad de esta composición a un punto medio entre la permeabilidad de las otras dos composiciones lo cual la hace difícil de medir y cualquier cambio en esta hará que se parezca a una o la otra.

Después de la prueba de esterilización y la de permeabilidad al vapor de agua es claro que la composición de 100% de PVOH respecto al almidón, es la que consiguió mejores resultados por esto solo para esta composición se realizaron las demás pruebas de caracterización.

**5.1.2 Permeabilidad al agua.** De la misma manera que se midió la permeabilidad al vapor de agua también se midió la permeabilidad al agua siguiendo el proceso presentado por MARÍA EUGENIA 2014 en el cual para evaluar la permeabilidad se realizaron ensayos de penetración de agua (IRAM 1554) y succión capilar (IRAM 1871), en su estado líquido para comprobar las propiedades de barrera de la película polimérica para esto se siguió el procedimiento presentado a continuación que parte de la ecuación 3 la cual es una ecuación sobre la transferencia de masa y la prueba permeabilidad al agua del cementó y hormigón.

**Figura 40.** Diagrama de proceso Permeabilidad al agua



Fuente: elaboración propia.

Para obtener los valores de la permeabilidad al agua también se necesitó la implementación de la ecuación presentada a continuación.

**Ecuación 3.** Calculo de la Permeabilidad al agua

$$P_w = \frac{m * l}{A * t * \Delta p}$$

Pw: Permeabilidad al agua

m o V: Masa o volumen de agua que atraviesa

l: Espesor de la película

A: Área de contacto

t: Tiempo

$\Delta p$ : Diferencia de concentración

Fuente: Guía técnica ainia de envase y embalaje. [Consultado en OCT 19,2019]. Disponible en: Disponible en: <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/>.

Al calcular el valor de la permeabilidad al agua es necesario saber la cantidad de agua que pasa a través de la película ya sea su masa o su volumen, el espesor de la película el cual se conocía previamente, el área al igual que en la permeabilidad al vapor de agua se halló el diámetro de la abertura del recipiente que contenía el agua y así calcular el área de contacto entre el agua y la película, el tiempo será el que tomo hacer la prueba y la diferencia de concentración la cual se expresa en presión parcial, esto debido a que esta ecuación sirve para gases y para líquidos

se usa la presión que ejerce la masa de agua sobre la película, en la tabla 18 se observa los resultados de los cálculos obtenidos en el Anexo G.

**Tabla 18.** Datos necesarios para el cálculo de la permeabilidad al agua

<b>Masa de agua</b>	2,887E-03	Kg
<b>Espesor</b>	0,002	M
<b>Área</b>	3,132E-06	m <sup>2</sup>
<b>Tiempo</b>	86400	S
<b>Presión</b>	155971,84	Pa

Fuente: elaboración propia.

En esta prueba se esperaba un comportamiento igual al de la permeabilidad al vapor de agua en la cual se medía la disminución de la masa de agua dentro del recipiente, sin embargo, después de 5h de prueba no se presentó disminución de la masa de agua por esta razón se decidió realizar la prueba por 24h con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 19).

**Tabla19.** Resultados de la Permeabilidad al agua

Polímero	Porcentaje	Permeabilidad		Unidades
		Ensayo	Replica	
PVOH	100	1,12E-10	1,36E-10	Kg/Pa*m*s

Fuente: elaboración propia.

La permeabilidad al agua de la película de composición de 100% de PVOH respecto al almidón, es bastante baja lo que demuestra que la película es poco porosa haciendo que obtenga buenas propiedades de barrera, debido a esto se espera que la película posea una permeabilidad al oxígeno baja ya que las moléculas de oxígeno tienen un diámetro menor comparada con las moléculas de agua, y una permeabilidad al dióxido de carbono similar a la presentada con el agua debido a que estas dos moléculas poseen un diámetro similar, aun así se debe tener en cuenta la presión con la cual se realiza la prueba ya que mientras mayor sea la presión mayor será la permeabilidad, esto porque la presión ayuda a la transferencia de masa, la cual es la fuerza impulsora debido a la diferencia de masa entra el interior y el exterior del recipiente.

**5.1.3 Densidad.** Si se centran en la densidad de los plásticos esta suele ser menor que la de otros materiales, por esto para medir esta característica se utiliza el mismo método que con un material sólido en donde se mide la masa de una porción del sólido y se mide el volumen que esta desplaza en un líquido para saber su densidad, se midió la densidad de la película de 100% de PVOH respecto al almidón midiendo la masa se un fragmento de la película y midiendo el volumen de agua que este desplaza al ser sumergido, obteniendo los resultados expuestos en la tabla 20.

**Tabla 20.** Resultados de la densidad

Polímero	Porcentaje	Masa		Volumen		Densidad		Unidades
		Ensayo	Replica	Ensayo	Replica	Ensayo	Replica	
PVOH	100	2,2665	1,6423	2	1	1,1332	1,6423	g/cm <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia

La densidad es baja en comparación a la reportada de otros materiales como el acero o la madera, aun así se muestra una diferencia amplia entre los resultados obtenidos en las dos pruebas uno de los factores que pudo influenciar es estos es la inconsistencia en el secado de las películas. La densidad de la película es menor a la de algunos de los plásticos convencionales (Tabla 21) lo cual puede se debe a la mezcla entre el almidón y el alcohol pilivinílico, como se distribuyen las moléculas de ambos polímeros en la película y la interacción entre estos dos polímeros.

**Tabla 21.** Densidad de diferentes polímeros

Denominación DIN	Densidad típica (gr/cm <sup>3</sup> )
Poliamida PA (Ertalon / Nylatron / Tecast / Tecamid)	1,15
Polióxido de Metilo POM C Poliacetal - Acetal ( Ertacetal / Tecaform)	1,41
Tereftalato de Polietileno Polyester PET (Arnite /Tecadur / Ertalyte)	1,38
Polietileno PE (Cestilene / Tecafine / PE-UHMW / PE- HD)	0,95
Polipropileno PP (Tecafine)	0,91
Cloruro de Polivinilo PVC rígido	1,42
Cloruro de Polivinilo PVC flexible	1,24
Metacrilato de Polimetilo PMMA (Tecacryl / Plexiglas / Resalit)	1,2
Policarbonato PC (PC1000 / Lexan / Makrolon / Tecanat)	1,2
Politetrafluoretileno PTFE (Tecaflon / Hostaflon)	2,18
Fluoruro de Polivinilideno PVDF (Tecaflon / Solef / Kynar)	1,78
Polietercetona PEEK (ketron Peek / Tecapeek / Victrex)	1,32 - 1,50
Polisulfona PSU (Tecason / Udel / Ultrason)	1,24
Polietersulfona PES (Tecason / Radel / Ultrason)	1,37
Polieterimida PEI (Ultem / Tecapei)	1,27
Poliimida PI (Vespel / Sintimid)	1,43 - 1,60
Polisulfuro de Fenileno PPS (Tecatron / Forton)	1,43
Polifenilsulfona PPSU (Tecason / Radel)	1,29
Polibenzimidazole PBI (Celazole PBI)	1,3
Poliamidaimida PAI (Torlon PAI / Ensinger PAI)	1,41

Fuente: Plásticos técnicos mecanizables. [Consultado en OCT 19,2019].  
 Disponible en: <http://www.plasticos-mecanizables.com/>

**5.1.4 Absorción de agua.** La absorción de agua es una propiedad importante de los polímeros ya que la cantidad de agua absorbida puede producir una variación dimensional o hinchamiento en un porcentaje en función del tipo de polímero, estos cambios de dimensiones son reversibles al efectuar la extracción de dicha humedad del polímero mediante un secado.

Hay polímeros en los que esta absorción de agua actúa como plastificantes, efectuando un cambio de propiedades importante tales como reblandecimiento, elasticidad, tenacidad, resistencia al impacto, etc. Al obtener las películas a partir de materiales que son solubles en agua hay que tener en cuenta sus interacciones con esta como la capacidad que tiene la mezcla de almidón y alcohol polivinílico de absorber agua.

Para determinar la absorción de agua del polímero se usos una fracción de la película polimérica se mide su masa y se deja en un recipiente con suficiente agua para cubrir toda el material por un periodo de 24h, después de este periodo de tiempo se elimina el agua que se encuentra en la superficie del material y se mide su masa nuevamente así con estos dos datos y aplicando la ecuación 4 se puede

hallar el porcentaje de agua absorbida, siendo este procedimiento usado para medir la absorción de agua de los ladrillos.<sup>92</sup>

**Ecuación 4.** Calculo del porcentaje de agua absorbida

$$\%agua\ absorbida = \frac{masa\ final - masa\ inicial}{masa\ final} * 100\%$$

Fuente: GARCÍA VERDUCH Antonio. Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos (H2T 2/75c). Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España.)

**Tabla 22.** Resultados de la Absorción de agua

Polímero	Porcentaje	Masa inicial		Masa final		Porcentaje de Absorción	
		Ensayo	Replica	Ensayo	Replica	Ensayo	Replica
PVOH	100	3,496	1,441	5,449	2,412	35,84	40,26

Fuente: elaboración propia

Al tratarse de una mezcla de almidón y alcohol polivinílico no es una sorpresa que esta pueda absorber una gran cantidad de agua gracias a la característica hidrófila de los polímeros, lo cual es una característica positiva como soporte para un apósito ya que ayudaría con la absorción de fluidos producidos por la herida a la parte del apósito encargado de esto.

**5.1.5 Resistencia a la degradación.** La degradación química se refiere a los procesos que son generados por la acción de reactivos químicos como ácidos, bases, solventes, gases reactivos, entre otras sustancias que entren en contacto con los polímeros (Tabla 23). Se hace necesario saber este rasgo de los polímeros para tener previo conocimiento de cómo se comportara este si durante su proceso de producción, uso y disposición final llegara a entrar en contacto con alguna de estas sustancias.

---

<sup>92</sup> GARCÍA VERDUCH Antonio. Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos (H2T 2/75c). Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España.)

**Tabla 23.** Efectos de agentes químicos sobre algunos polímeros comunes

Polímero	Efectos disolventes y degradativos de agentes químicos sobre algunos polímeros más comunes							
	Agente químico							
	Disolventes alifáticos	Disolventes aromáticos	Disolventes clorados	Esteres y cetonas	Bases débiles	Bases fuertes	Ácidos fuertes	Oxidantes fuertes
Acrílico	BC	EE	EE	EE	AC	BE	DE	EE
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	AE	DE	EE	EE	AC	AC	BE	DE
Acetato de celulosa	AB	AC	AD	EE	AC	CE	CE	CE
Epoxis (reforzadas con fibra de vidrio)	AB	AB	AC	BC	AA	BC	BC	DD
Poliamida	AA	AA	AB	AA	AB	BC	EE	EE
Polibenzimidazol	AA	AA	AA	AA	AA	AB	AB	AC
Policarbonato	AA	AA	EE	EE	AE	EE	AA	AA
Poliéster (reforzado con fibra de vidrio)	AB	AC	BD	CC	BC	CE	BB	BC
Poliétileno	CE	CE	DE	DE	AA	AA	AA	AA
Polipropileno	AD	BD	BD	AC	AA	AA	AC	AD
Polisulfona	AA	DD	EE	CD	AA	AA	AA	AA
Poliestireno	DE	DE	EE	DE	AE	AE	DE	DE
Poli (tetrafluoretileno)	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA
Policloruro de vinilo	AE	DE	EE	DE	AE	AE	AE	BE
Silicona	BC	DD	DE	BD	AB	DE	CD	DE

Fuente: GONZÁLEZ M. Prolongo Propiedades químicas y físicas de polímeros E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid . [Consultado en OCT 19,2019].  
 Archivo pdf. Disponible en:  
[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC\\_32\\_art\\_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC_32_art_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

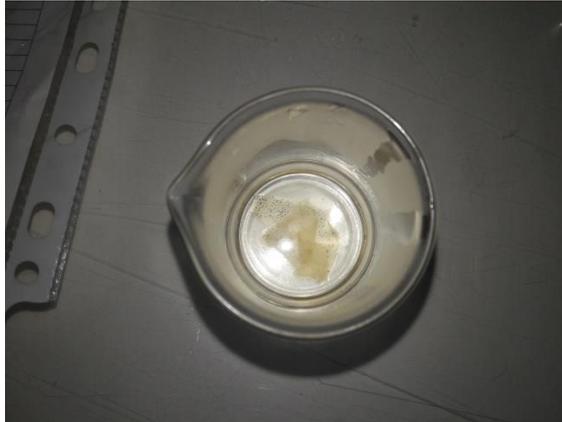
Para determinar la resistencia a la degradación de la mezcla polimérica con 100% de PVOH se tomaron fracciones de la película polimérica con una masa promedio de 7,534g y 2,237g y se sumergieron en 10ml de ácido clorhídrico 37% (ácido fuerte, AF), ácido acético 98% (ácido débil, AD), solución de hidróxido de sodio 5M (base fuerte, BF) y amoníaco 28% (base débil, BD), por un periodo de tiempo de 30 min mientras se agitaba, con esto se busca de forma cualitativa determinar cuál era el efecto de estas sustancias sobre la película polimérica por medio de una clasificación por letras en donde A (No efecto), B (Efecto débil), C (Efecto medio), D (Reblandecimiento o hinchamiento) y E (Deteriore severo o degradación). (M. González-Prolongo. Propiedades químicas y físicas de polímeros. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid).

**Tabla 24.** Resultado prueba de resistencia a la degradación

Polímero	Porcentaje	Degradación AF		Degradación AD		Degradación BF		Degradación BD	
		Ensayo	Replica	Ensayo	Replica	Ensayo	Replica	Ensayo	Replica
PVOH	100	E	E	A	A	D	D	B	B

Fuente: elaboración propia.

**Figura 41.** Película sometida al ácido fuerte



Fuente: elaboración propia

**Figura 42.** Película sometida a la base fuerte



Fuente: elaboración propia

**Figura 43.** Película sometida a la base y el ácido débil



Fuente: elaboración propia.

Al realizar la prueba de degradación con el ácido fuerte (figura 41) se observó cómo después de un tiempo de entre 15 a 18 minutos el polímero había perdido toda forma y estructura solo quedaba una pasta semisólida de color amarillo la cual había perdido todas las propiedades del polímero, el ácido débil (figura 42 izquierda) no produjo una acción degradante en la película, ni cambio de color u otro efecto negativo en la película esto se puede ser por el hecho que este es un reactivo presente como componente dentro de la película. En cuanto a la base fuerte (figura 40) esta no presentó un efecto de degradación elevado solo se presentó un reblandecimiento de la película y un ligero cambio de color tal vez si se usara una solución de una concentración más alta se presentaría un efecto de degradación más destructivo, y por último la base débil (figura 42 derecha) tampoco presentó algún efecto negativo en la película solo un ligero cambio de color y nada más aun después de culminar el tiempo y bajo agitación.

## **5.2 BIODEGRADACIÓN.**

Existen algunas condiciones que son necesarias para que se pueda llevar a cabo el proceso de biodegradación estas son la presencia de microorganismos, oxígeno, humedad, nutrientes minerales y dependiendo del microorganismo temperaturas entre 20 a 60°C y pH entre 5-8.

Los bioplásticos pueden ser degradados de manera aeróbica o de manera anaeróbica, estos se degradan de manera aeróbica en campo abierto, de manera anaeróbica en sedimentos y parcialmente aeróbica mediante compostaje. Cuando se presenta degradación aeróbica se producen dióxido de carbono y agua, y en el caso anaeróbico se produce dióxido de carbono y agua y metano<sup>93</sup>.

Durante la primera fase de la degradación de los biopolímeros, estos se convierten en sus monómeros para ser consumidos por el metabolismo de los microorganismos. Los polímeros no puede ser digeridos por los organismos debido a su gran tamaño, por esta razón primero deben romperse las cadenas y liberar los monómeros por esto aumentar en el peso molecular de los polímeros resulta en una disminución de la degradabilidad por microorganismos.

Al desear obtener una película polimérica que fuera biodegradable se buscó que los polímeros que componen la película fueran biodegradables o se degradaran en el menor tiempo posible por esto se hace uso del almidón termoplástico, alcohol polivinílico y el ácido polilactico con estos nos aseguramos de obtener un material polimérico biodegradable así como se observa en la figura 44 como la película de almidón/PVOH presenta el desarrollo de microorganismos en su superficie al permanecer en una incubadora con cajas de Petri con muestras de hongos por 3 días, al no hacerse pruebas para determinar el tiempo de degradación se muestra

---

<sup>93</sup> SHAN Ali, HASAN f, et al. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. 2008. En Department of Microbiology, Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan.

a continuación estudios que respaldan la biodegradabilidad de la película polimérica obtenida así como posibles tiempos de degradación en los cuales deberían estar la película si fuera sometida a pruebas de degradación.

Se han reportado en estudios de la biodegradación de almidón de maíz que la pérdida de peso en la semana 1 fue de 0,2 %, la semana 2: 0,5 % y luego abruptamente en la semana 3 la pérdida alcanzó el 3 %; y en la semana 4: 5 %, así la expectativa sobre biodegradabilidad de la película en el suelo fue menos de 6 meses. En películas de almidón de maíz con glicerol y concentraciones de extracto de yerba mate (0,5 y 20 %), el extracto condujo a una disminución en el tiempo de degradación de las películas en suelo compostado, asegurando su completa biodegradabilidad antes de 2 semanas.<sup>94</sup>

El PVOH es totalmente degradable y se disuelve rápidamente en agua, no hay reportes de productos de degradación peligrosos a corto plazo, sin embargo, los productos de degradación a largo plazo pueden ser posiblemente peligrosos. Para la degradación de mezclas de polímeros biodegradables, se debe tener en cuenta que la velocidad de degradación es determinada por el material que primero logra su degradación esto hace que se interfiera la integridad estructural dejando así una mayor área superficial para el ataque de los microorganismos en el material menos afectado.

Las películas de PVOH se degradan rápidamente en los primeros 20 días y luego la tasa de degradación disminuye hasta el día 80, así la biodegradación continuó a menor tasa hasta los 160 o 180 días. La adición de almidón ayudo a que la tasa de biodegradación se incremente y las películas con mayor contenido de alcohol polivinílico exhibieron mayor resistencia a la biodegradación, siendo la degradación del almidón la más rápida en comparación con la del alcohol polivinílico<sup>95</sup>.

---

<sup>94</sup> MEDINA Carolina, GUTIÉRREZ Tommy, et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. 2016. En Carbohydrate Polymers. 151:150-159.[Consultado en:SEP 12,2019].Archivo PDF. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716305471>

<sup>95</sup> BHANU Priya, VINOD Gupta y PATHANIA Kumar. Deepak and Singha, Amar Singh.2014. En Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradablestarch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. Carbohydrate Polymers. 109:171-179.

**Figura 44.** Película de Almidón/PVOH expuesta a microorganismos



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 25.** Comparación entre biopolímeros y polímeros convencionales

Características	Biopolímero	Polímero convencional	
	Almidón/PVOH	Poliuretano	Poliéster
Permeabilidad la vapor de agua	Buena	Buena	Buena
Permeabilidad al agua	Buena	Excelente	Excelente
Densidad	Baja	Baja	Baja
Adsorción de agua	Alta	Baja	Baja
Resistencia a la degradación	Buena	Buena	Buena
Esterilización	Calor húmedo	Calor húmedo	Calor húmedo
Degradabilidad	Biodegradable	Baja degradación	Baja degradación

Fuente: elaboración propia

Al comparar los bioplásticos usados en la elaboración de las películas poliméricas frente a la propiedades que poseen polímeros convencionales usados en apósitos se puede notar como estos polímeros tienen la capacidad de desempeñar el mismo papel que los polímeros convencionales tienen en estos productos, aunque existan falencias en ciertas propiedades de los bioplásticos y dada la gran variedad de polímeros convencionales que podemos encontrar con variadas propiedades aún falta mucha investigación y desarrollo de los biopolímeros para que estos puedan ser sustitutos adecuados en cualquier aplicación.

## 6. CONCLUSIONES

- Los parámetros encontrados en esta investigación para la obtención de las películas fueron: porcentaje de agua: 75%, porcentaje de almidón: 5% y porcentaje de glicerina: 25%, además de una temperatura de 90°C y un tiempo de agitación de 10 minutos, estos parámetros permiten obtener un gel con la consistencia deseada para obtener una película polimérica con buena uniformidad.
- La mezcla polimérica más adecuada para la elaboración de una película un apósito es la que contiene 65,4% de agua, 4,7% de almidón, 23,4% de glicerina, 4,7% de PVOH y 0,9% de aditivos la cual corresponde a la composición con igual cantidad de almidón y alcohol polivinílico de mostrando que al entre mayor sea el porcentaje de alcohol polivinílico mejor se las propiedades de la película.
- La obtención de una película de almidón y ácido poliláctico (PLA) según los resultados obtenidos en esta investigación, no fue posible debido al carácter hidrofóbico e hidrofílico de ambos polímeros pero con la ayuda de los agentes acoplantes y compatibilizadores adecuados pude obtenerse una película polimérica usando el proceso de extrusión la cual puede tener propiedades que le permitan ser usada para la elaboración de un apósito.
- La película de almidón y alcohol polivinílico (100% PVOH p/p, respecto al porcentaje de almidón) demostró tener las características (estabilidad térmica, permeabilidad al agua y al vapor) necesarias para ser un buen sustituto de polímeros como el poliéster y el poliuretano usados para la elaboración de apósitos aun así existen diferentes métodos que pueden ayudar a mejorar la película respecto a su capacidad de absorción de agua la cual fue su característica más desfavorable.
- La película polimérica al estar constituida de polímeros termoplásticos puede ser sensible a procesos en las cuales se tengan temperaturas elevadas como lo es el proceso de esterilización con el cual se puede presentar degradación térmica, aun así la película logro un desempeño favorable según los resultados de esta investigación.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda como procedimiento experimental asegurarse una buena disolución del alcohol polivinílico en el agua, de no ser así puede generarse espuma con la agitación la cual generara burbujas de aire en la película provocando que esta tenga mayor tendencia a la ruptura, además no será necesario el adicionar sustancias antiespumantes como otro aditivo a la película.
- Se recomienda que las mezclas poliméricas a partir de almidón y ácido poliláctico pueden llevarse a cabo por medio del proceso de extrusión teniendo en cuenta que debe hacerse con la ayuda de un compatibilizador adecuado gracias al carácter químico de estos dos polímeros, aun así estas mezclas pueden tener características que puedan ser beneficiosas para un propósito.

## BIBLIOGRAFIA

ALBÁN Fred. Ácido Poliláctico (PLA). 2003. En Biblioteca Universidad del Valle propiedades y Aplicaciones. Bacterióloga VOLUMEN 5 - No. 1.

ASEEM Das WorldCentric. Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Palo Alto, CA 94306 Materials Under Controlled Composting Conditions. Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Palo Alto, CA 94306. 2010. En Materials Under Controlled Composting Conditions U.S.A. [Consultado en MAY 19, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.worldcentric.org/files/wheatstraw-astm6400.pdf>

AURAS P. et.al. Procesado del ácido poliláctico (PLA) y de nanocompuestos PLA/montmorillonita en planta piloto: Estudio de sus cambios estructurales y de su estabilidad térmica. Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica. 2010 Universidad Politècnica de Catalunya. C/ Colom, 11. E-08222 Terrassa. b Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Girona. Campus Montilivi, s/n. E-17071 Girona. c Centre Català del Plàstic. C/ Colom, 114. E-08222 Terrassa.

BENEDI, Juana. ROMERO, Carmen. Apósitos. Elsevier Vol 20 No 6 pag 52. 2006. [Consultado En MAY 28,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13089951>.

BHANU Priya, VINOD Gupta y PATHANIA Kumar. Deepak and Singha, Amar Singh.2014. En Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. Carbohydrate Polymers. 109:171-179.

CASTRO Victor. Almidón. En composición bioquímica de productos agroindustriales, 2014 Universidad Nacional Del Santa, Facultad de Ingeniería. Pag 5.

CATAÑO Elkin. Obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de desechos agroindustriales. 2009. En Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas, Escuela de Procesos y Energía, Sede Medellín. pag 13.

CHACON J. Protección contra la corrosión del acero inoxidable 304 a base de recubrimiento de poli(3-octiltiofeno).2010. En Centro de investigación en materiales avanzados, S.C. posgrado. Pag 10.

COLLÍ J. Pablo. Químicamente, el almidón está integrado por dos polímeros de diferente estructura la amilosa y la amilopectina. 2018 En Repositorio Institucional de Mérida, Yucatán, México Pag 5

CONDREA Gina. Definición de la metodología del test de biodegradabilidad bajo condiciones aerobias. 2016. [Consultado En May 29,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3031/1/TFM%20Condrea%20Rineanu%2C%20Gina.pdf>

CORDERO O., MUIÑAS I. Evaluación y diagnóstico de los plásticos en la playa de vilariño. [Consultado el MAY 23,2019]. Archivo PDF. Disponible en: En [esdelibro.es](http://esdelibro.es). Cap. 1.1

ENRÍQUEZ Mario, VELASCO Reinaldo y ORTIZ Vicente. Artículo composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2012. En revista biotecnología Vol 10 No1 (182-192).

FAYT, R., HADJIANDREOU, P. y TEYSSIE, P., J. POLYM. 1985 Sci. Polym. Chem Ed., 23, 337 Polymer science learning center. [Consultado el MAY 23,2019]. Archivo PDF Copyrigh 2003-2019. Disponible en: <https://www.pslc.ws/macrog/iblend.htm>

FERNANDEZ Iraima. Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera. [Consultado en JUL 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/publicados/fernandez.pdf>

FERNÁNDEZ MORALES, J. J., & VARGAS ROMERO, P. A. Elaboración de un plan de negocios para determinar la factibilidad de la producción de bioplásticos a partir de papa en contra de la contaminación en colombia. (2015). [Consultado en MAY 19,2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13350/2/PRODUCCI%C3%93N%20DE%20BIOPL%C3%81STICOS.pdf>, pag 14

FIORESE M.L., FREITAS F., PAIS J., et al. Recovery of polyhydroxybutyrate (P3HB) from *Cupriavidus necator* biomass by solvent extraction with 1, 2-propylene carbonate. 2009. Eng. Life. Sci. 9,454-461.

FRITZ H. G. Study of production of thermoplastics and fibers based mainly on biological material. (1994).En European commission. Stuttgart German, 392.

GALVAN Berenice. Aislamiento, purificación y caracterización de actividad celulolítica de hongos de corteza de *Pinus hartwegii*. Octubre 2018.

GARCÍA Alma. Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. 2015. En escuela especializada en ingeniería itca – fepade dirección de investigación y proyección social programa de investigación aplicada.

GARCÍA VERDUCH Antonio. Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos (H2T 2/75c). Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España.)

GOMEZ O. Plásticos biodegradables. 2018. En Química, Universidad Distrital Francisco José de Caldas pag 1.

GONZÁLEZ, Y.; MEZA, J.C.; GONZÁLEZ, O. y CÓRDOVA, J.A. Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. 2013. En Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 29 (1), 77-115. Pag 77

HERMIDA. Elida Polímeros Guía didáctica, Capítulo 9, 2011 Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.

HERNÁNDEZ B., EFRÉN, & CRUZ R., et al. Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. 2007 Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 38(2),15-25. [Consultado En May 28,2019]. ISSN: 1870-0195. Archivo PDF Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=579/57938203>

HERNÁNDEZ Marilyn, MEDINA Juan, et al. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. 2008. En Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Juarez, 421, Cd. Industrial, CP 97288, Apdo. Postal 1226

HOOVER R, HUGHES T, CHUNG HJ, LIU Q. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. Food Res Int. (2010); 43(2): 399-413.

HUNEAULT, M. y LI, H.; Morphology and properties of compatibilized polylactide/thermoplastic starch blends. 2007. En Polymer 48, 270-280.

HYCAIL. [Consultado el MAY 23, 2019]. Disponible en: <http://www.hycail.com/pages/engels/hycailen.html>

IBRAHIM Khan, MUHAMMAD Manshaand MOHAMMAD Abu JafarMazumder.PolymerBlends. ChemistryDepartment, King FahdUniversity of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. M. A. JafarMazumder et al. (eds.), FunctionalPolymers, Polymers and PolymericComposites (2018). A Reference Series. [Consultado el MAY 20, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2\\_16-](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2_16-)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153p.

International Standards Organization (ISO-472) 2010. . [Consultado en JUN 2,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://www.academia.edu/28926176/Microsoft\\_Word\\_-\\_REV\\_Gu\\_355a\\_est\\_341ndar\\_para\\_la\\_exposici\\_363n\\_y\\_pruebas\\_de\\_pl\\_341stico\\_s\\_biodegradables](https://www.academia.edu/28926176/Microsoft_Word_-_REV_Gu_355a_est_341ndar_para_la_exposici_363n_y_pruebas_de_pl_341stico_s_biodegradables)

JOAQUI Diego y VILLADA Héctor. Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. 2013. En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Ingeniería de Alimentos. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agroindustria. Universidad del Cauca, Popayán.

KHAN I.et.al. PolymerBlends. ChemistryDepartment, King FahdUniversity of Petroleum and Minerals, Dhahran, 2018. Saudi Arabia. M. A. JafarMazumder et al. (eds.), FunctionalPolymers, Polymers and PolymericComposites: A Reference Series,

KHANNA S, SRIVASTAVA AK. Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoates. Process Biochem. (2005); 40(2): 607-619.

MACIEL Filho. Synthesis and Characterization of Poly (LacticAcid) for Use in Biomedical Field. 2015. In Laboratory of Optimization, Design and Advanced Control.

MEDINA Carolina, GUTIÉRREZ Tommy, et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. 2016. En Carbohydrate Polymers. 151:150-159.[Consultado en:SEP 12,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716305471>

MENESES Juliana. CORRALES Maria. VALENCIA Marco. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.2007. Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq no.8 Envigado [Consultada en JUN 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s17941237200700020006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s17941237200700020006)

MOLINA Pamela, SILVA Myrian y VALLE Lauro. Preliminary study of compatibilizers in PLA-achira (*Canna edulis*) starch blends. 2017. En Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Ecuador. [Consultado en JUL 19,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Dialnet-EstudioPreliminarDeCompatibilizantesEnMezclasPLAal-6550726.pdf>

MORENO Breiner; SANCHEZ Maria; Obtención de plásticos. 2018. En: Universidad ECCI, Gestión de procesos industriales.

NAVA Diana, VILLADA Samuel. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN EN EMPAQUES BIODEGRADABLES EN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN.2013. En Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. Popayán-Colombia

NIKOLAEVNA Olga, YUREVNA Papkina y BORISOVNA Shipovskaya. composition for obtaining biodegradable polymer material and biodegradable polymer material on its basis.2017. En número de publicación: 0002669865 fecha de publicación: 16.10.2018 tipo de publicación: c1 cip: c08k 3/00 c08l 29/04 c08l 101/16 c08k 5/05 c08l 3/02.

Noticia Plásticos Universales de 2 de enero 2006. [Consultado el MAY 23,2019]. Disponible en: <http://www.plastunivers.com/Tecnica/noticias/Noticia.asp?ID=12019>.

PEÑARANDA Oscar, PERILLA Jairo y ALGECIRA Néstor. Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. 2008. En Revista de ingeniería e investigación VOL 28 No 3.(47.52)

RAMOS F; ESTRADA V; et al. Producción de poli(beta-hidroxiburirato) utilizando Glicerol como fuente de carbono. 2014. En Vol 24 No 1. Revista científica. Pag 71.

REDDY Laxmana, REDDY Sanjeevani y GUPTA Anusha. Study of Bio-plastics As Green & Sustainable Alternative to Plastics. Department of Chemical Engineering, CBIT, Andhra Pradesh, India. 2014. En International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering

REYES Anderson. VEGA Magali. Influenciaa del polvo esmerilado de cuero, alcohol polivinilico y ácido bórico en la fabricación de un material compuesto con una capacidad higroscópica.2016. [Consultado el: AGO 17, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/1843/Reyes%20Paredes%20C%20Anderson%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RUEDA Cataño, HERNÁN Elkin. Obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de desechos agroindustriales. 2009. En Repositorio institucional Universidad nacional de Colombia 920

SANZ Ascensión. Tecnología de la celulosa. La industria papelera. Química Orgánica Industrial. [Consultado el MAY 23,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

SERNA Liliana. RODRIGUEZ Aida. ALBAN Fred. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. VOLUMEN 5 - No. 1 - Octubre de 2003. [Consultado en: AGO 08,2019]. Archivo PDF. Disponibles en: <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/2301-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4839-2-10-20170520.pdf>

SHAN Ali, HASAN f, et al. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. 2008. En Department of Microbiology, Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan.

SOSA Daniel. Pulsos eléctricos de alta tensión para conservación de alimentos y esterilización médica. 2006. XIV Seminario de Ing biomédica 2006. Univ De la Rep. Oriental de Uruguay. Pag 5. [Consultada en JUN 20,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202006/Trabajos%20estudiantes%202006/Sosa,%20Daniel%20.pdf>.

TARIQ Ziyad. MSc Physical and Chemical Investigations of Starch Based Bio-Plastics. 2015. in Material Science (Leicester) University of Leicester. [Consultada en JUN 20, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [https://leicester.figshare.com/articles/Physical\\_and\\_Chemical\\_Investigations\\_of\\_Starch\\_Based\\_Bio-Plastics/10153928/1](https://leicester.figshare.com/articles/Physical_and_Chemical_Investigations_of_Starch_Based_Bio-Plastics/10153928/1)

VALERO Fernando, ORTEGÓN Yamileth, et al. 2013. Alternativa Biopolímeros En BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS. Nro. 181, pp. 171-180.

VIGNOLI, Rafael. Esterilización, desinfección y antisepsia.SF. [Consultado en JUN 5,2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/esterilizacionydesinfeccion.pdf> pag 609

VILLADA Héctor, ACOSTA Harold y VELASCO Reinaldo. Investigación de almidones termoplásticos, precursores biodegradables. 2008. En Información tecnológica- Vol 19 N°2 (3-14)

VINIT Mehta. Polyvinyl Alcohol: Properties, Uses, and Application.2018. [Consultado el MAY 23,2019]. Archivo PDF. Disponible en: [toppr.com](http://toppr.com)

WHISTLER RL y Daniel JR. Molecular structure of starch. 1984. In: Whistler RL, Bemiller JN y Paschall EF editors. Starch: Chemistry and Technology. New York, U.S.A: Academic Press. 154-180 pp.

Xiao L. et.al. Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications. 2012 College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, National Engineering Research Center for Nano-Medicine, Huazhong University of Science and Technology, Department of Chemistry, University of Waterloo, China Canada.

# **ANEXOS**

**ANEXO A.**  
**CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA**

$$volumenH_2O = \frac{\frac{70\%}{100\%} * 100g}{\frac{1g}{1ml}} = 70ml H_2O$$

$$masaAlmidon = \frac{5\%}{100\%} * 100g = 5gAlmidon$$

$$volumenGlicerina = \frac{\frac{25\%}{100\%} * 100g}{\frac{1,26g}{1ml}} = 20ml Glicerina$$

$$masaPVOH = \frac{10\%}{100\%} * 5g Almidon = 0,5g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{20\%}{100\%} * 5g Almidon = 1g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{30\%}{100\%} * 5g Almidon = 1,5g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{40\%}{100\%} * 5g Almidon = 2g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{50\%}{100\%} * 5g Almidon = 2,5g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{60\%}{100\%} * 5g Almidon = 3g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{70\%}{100\%} * 5g Almidon = 3,5g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{80\%}{100\%} * 5g Almidon = 4g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{90\%}{100\%} * 5g Almidon = 4,5g PVOH$$

$$masaPVOH = \frac{100\%}{100\%} * 5g Almidon = 5g PVOH$$

$$masaPLA = \frac{10\%}{100\%} * 5g Almidon = 0,5g PLA$$

$$masaPLA = \frac{20\%}{100\%} * 5g Almidon = 1g PLA$$

$$masaPLA = \frac{30\%}{100\%} * 5g Almidon = 1,5g PLA$$

$$masaPLA = \frac{40\%}{100\%} * 5g Almidon = 2g PLA$$

$$masaPLA = \frac{50\%}{100\%} * 5g Almidon = 2,5g PLA$$

$$masaPLA = \frac{60\%}{100\%} * 5g \text{ Almidon} = 3g \text{ PLA}$$

$$masaPLA = \frac{70\%}{100\%} * 5g \text{ Almidon} = 3,5g \text{ PLA}$$

$$masaPLA = \frac{80\%}{100\%} * 5g \text{ Almidon} = 4g \text{ PLA}$$

$$masaPLA = \frac{90\%}{100\%} * 5g \text{ Almidon} = 4,5g \text{ PLA}$$

$$masaPLA = \frac{100\%}{100\%} * 5g \text{ Almidon} = 5g \text{ PLA}$$

$$masaAditivos = \frac{2\%}{100\%} * 100g = 2g \text{ Aditivos}$$

$$volumenAcido \text{ acetico} = \frac{\frac{50\%}{100\%} * 2g \text{ Aditivos}}{\frac{1,05g}{1ml}} = 1ml \text{ Acido acetico}$$

$$volumenAnhidrido \text{ acetico} = \frac{\frac{50\%}{100\%} * 2g \text{ Aditivos}}{\frac{1,08g}{1ml}} = 1ml \text{ Anhidrido acetico}$$

$$masaAcido \text{ citrico} = \frac{10\%}{100\%} * 2g \text{ Aditivos} = 0,2g \text{ Acido citrico}$$

$$volumenEtanol = \frac{\frac{10\%}{100\%} * 2g \text{ Aditivos}}{\frac{0,789g}{1ml}} = 0,3ml \text{ Etanol}$$

$$masaAceite \text{ de coco} = \frac{10\%}{100\%} * 2g \text{ aditivos} = 0,2g \text{ Aceite de coco}$$

$$masaAcido \text{ aspartico} = \frac{10\%}{100\%} * 2g \text{ Aditivos} = 0,2g \text{ Acido aspartico}$$

$$volumenHCl = \frac{\frac{10\%}{100\%} * 2g \text{ Aditivos}}{\frac{1,19g}{1ml}} * \frac{100\%}{37\%} = 0,5ml \text{ HCl}$$

**ANEXO B.**  
**TABLAS DE PORCENTAJE, MASA Y VOLUMEN DE LOS COMPONENTES**  
**PARA CADA UNA DE LAS MEZCLAS**

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	10	0,5	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	0,5	0,5
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	103
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	20	1,0	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Masa</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	1,0	1,0
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	103
-------------------	-----

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	30	1,5	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	1,5	1,5
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	104
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	40	2,0	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Masa</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	2,0	2,0
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	104
-------------------	-----

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	50	2,5	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	2,5	2,4
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	105
-------------------	-----

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	60	3,0	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	3,0	2,9
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	105
-------------------	-----

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	70	3,5	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	3,5	3,4
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	106
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	80	4,0	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Masa</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	4,0	3,9
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	106
-------------------	-----

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	90	4,5	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	4,5	4,4
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	107
-------------------	-----

Componentes	Porcentaje	Masa	Volumen
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PVOH	100	5,0	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Ácido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	10	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

Componentes	Masa	Porcentaje
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PVOH	5,0	4,9
Aditivos	0,0	0,0
Ácido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,2	0,2
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	107
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PLA	10	0,5	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Anhídrido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	20	0,2	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
Agua	70	70,0	70,0
Almidón	5	5,0	0,0
Glicerina	25	25,0	19,8
PLA	100	5,0	0,0
Aditivos	2	2,0	0,0
Anhídrido Acético	50	1,0	1,0
Ácido cítrico	20	0,4	0,0
Etanol	10	0,2	0,3
Aceite de coco	10	0,2	0,0
Ácido aspártico	10	0,2	0,0
Ácido clorhídrico	10	0,2	0,5

<b>Masa total</b>	100
-------------------	-----

<b>Componentes</b>	<b>Masa</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	70,0	68,3
Almidón	5,0	4,9
Glicerina	25,0	24,4
PLA	5,0	4,9
Aditivos	0,0	0,0
Anhídrido Acético	1,0	1,0
Ácido cítrico	0,4	0,4
Etanol	0,2	0,2
Aceite de coco	0,2	0,2
Ácido aspártico	0,2	0,2
Ácido clorhídrico	0,2	0,2

<b>Masa total</b>	107
-------------------	-----

**ANEXO C.**  
**TABLAS, GRAFICAS Y CALCULOS CORRESPONDIENTES A LA**  
**EVALUCACION DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE LAS**  
**PELICULAS CON COMPOSICION DE 70% PVOH.**

<b>Masa recipiente</b>	3,2176E-02	Kg
<b>Diámetro</b>	0,03	m
<b>Área</b>	7,07E-04	m <sup>2</sup>
<b>Espesor</b>	2,00E-04	m
<b>Humedad interior</b>	75	%
<b>Humedad exterior</b>	50	%
<b>Presión parcial vapor</b>	23331,41	Pa
<b>Tiempo</b>	18000	s

$$VTVA70\% = \frac{-3 \times 10^{-8} \text{Kg}}{18000 \text{s} * 7,07 \times 10^{-4} \text{m}^2} = \frac{-2,36 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

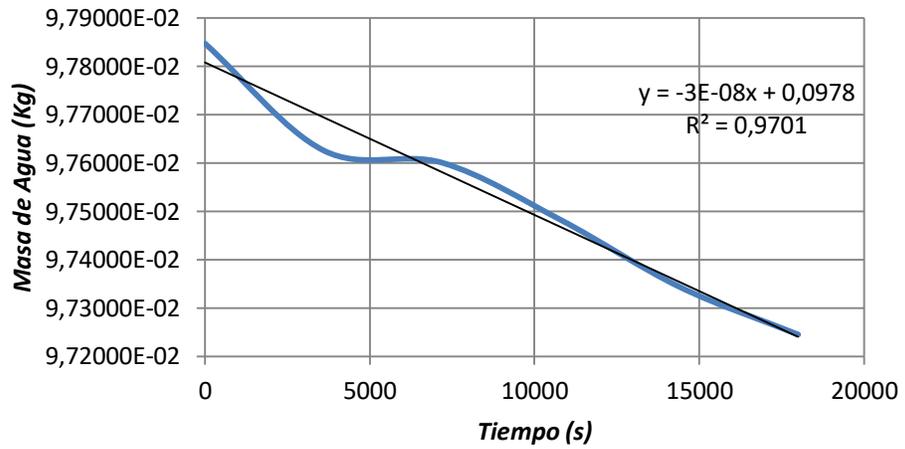
$$PVA70\% = \frac{\left(\frac{-2,36 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}\right) * 2 \times 10^{-4} \text{m}}{23331,41 \text{Pa} (50\% - 75\%)} = \frac{8,085 \times 10^{-19} \text{Kg}}{\text{Pa} * \text{m} * \text{s}}$$

<b>VTVA</b>	-2,36E-09	
<b>PVA</b>	8,08E-19	Kg/Pa*m*s

<b>VTVA</b>	-2,36E-09	
<b>PVA</b>	8,085E-19	Kg/Pa*m*s

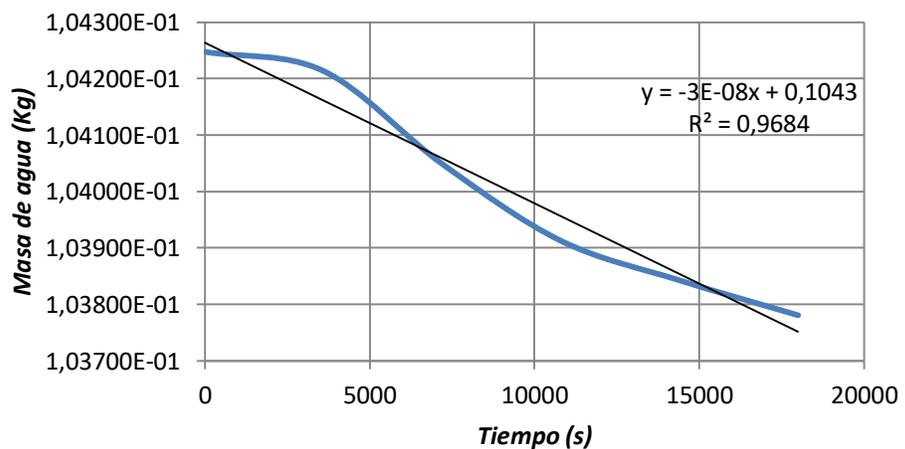
<b>Tiempo (s)</b>	<b>Masa de agua (Kg)</b>
0	9,78468E-02
3600	9,76257E-02
7200	9,76003E-02
10800	9,74819E-02
14400	9,73436E-02
18000	9,72451E-02

### Permeabilidad 70%



Tiempo (s)	Masa de agua (Kg)
0	1,04248E-01
3600	1,04214E-01
7200	1,04049E-01
10800	1,03913E-01
14400	1,03843E-01
18000	1,03781E-01

### Permeabilidad 70%



**ANEXO D.**  
**TABLAS, GRAFICAS Y CALCULOS CORRESPONDIENTES A LA**  
**EVALUCACION DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE LAS**  
**PELICULAS CON COMPOSICION DE 80% PVOH.**

<b>Masa recipiente</b>	2,8860E-02	Kg
<b>Diámetro</b>	0,03	m
<b>Área</b>	7,07E-04	m <sup>2</sup>
<b>Espesor</b>	2,00E-04	m
<b>Humedad interior</b>	75	%
<b>Humedad exterior</b>	50	%
<b>Presión parcial vapor</b>	23331,41	Pa
<b>Tiempo</b>	18000	s

$$VTVA_{80\%} = \frac{-2 \times 10^{-8} \text{Kg}}{18000 \text{s} * 7,07 \times 10^{-4} \text{m}^2} = \frac{-1,57 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$PVA_{80\%} = \frac{\left(\frac{-1,57 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}\right) * 2 \times 10^{-4} \text{m}}{23331,41 \text{Pa} (50\% - 75\%)} = \frac{5,39 \times 10^{-19} \text{Kg}}{\text{Pa} * \text{m} * \text{s}}$$

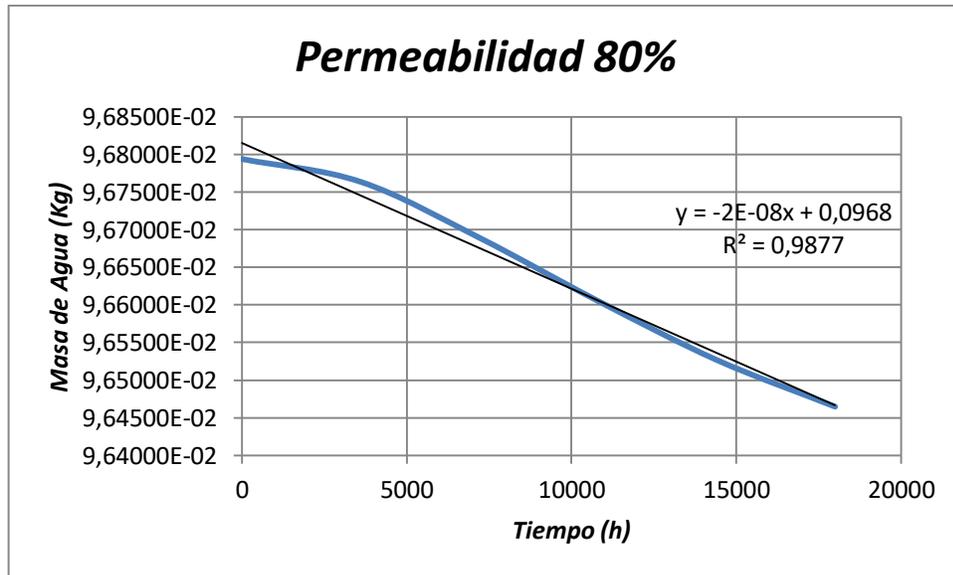
<b>VTVA</b>	-1,57E-09	
<b>PVA</b>	5,39E-19	Kg/Pa*m*s

$$VTVA_{80\%} = \frac{-3 \times 10^{-8} \text{Kg}}{18000 \text{s} * 7,07 \times 10^{-4} \text{m}^2} = \frac{-2,36 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$PVA_{80\%} = \frac{\left(\frac{-2,36 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}\right) * 2 \times 10^{-4} \text{m}}{23331,41 \text{Pa} (50\% - 75\%)} = \frac{8,085 \times 10^{-19} \text{Kg}}{\text{Pa} * \text{m} * \text{s}}$$

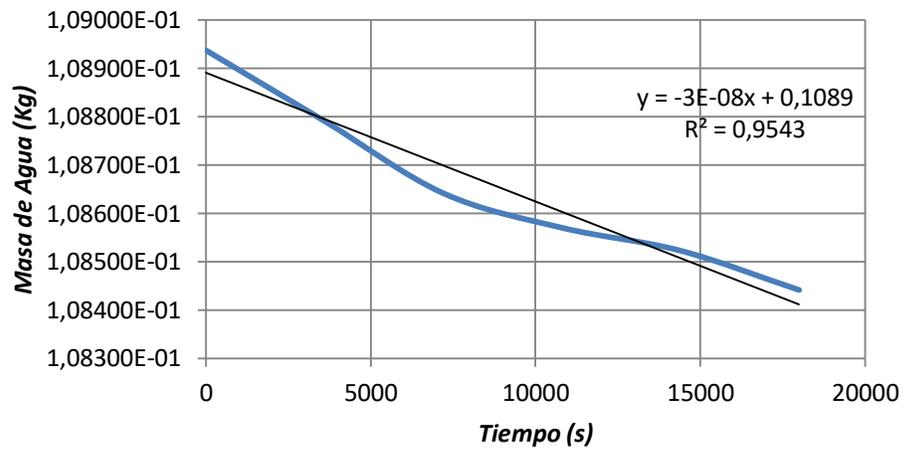
<b>VTVA</b>	-2,36E-09	
<b>PVA</b>	8,085E-19	Kg/Pa*m*s

Tiempo (s)	Masa de agua (Kg)
0	9,67939E-02
3600	9,67636E-02
7200	9,66893E-02
10800	9,66053E-02
14400	9,65269E-02
18000	9,64647E-02



Tiempo (s)	Masa de agua (Kg)
0	1,08937E-01
3600	1,08791E-01
7200	1,08641E-01
10800	1,08570E-01
14400	1,08523E-01
18000	1,08441E-01

### Permeabilidad 80%



**ANEXO E.**  
**TABLAS, GRAFICAS Y CALCULOS CORRESPONDIENTES A LA**  
**EVALUCACION DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE LAS**  
**PELICULAS CON COMPOSICION DE 90% PVOH.**

<b>Masa recipiente</b>	3,09133E-02	Kg
<b>Diámetro</b>	0,03	m
<b>Área</b>	7,07E-04	m <sup>2</sup>
<b>Espesor</b>	2,00E-04	m
<b>Humedad interior</b>	75	%
<b>Humedad exterior</b>	50	%
<b>Presión parcial vapor</b>	23331,41	Pa
<b>Tiempo</b>	18000	s

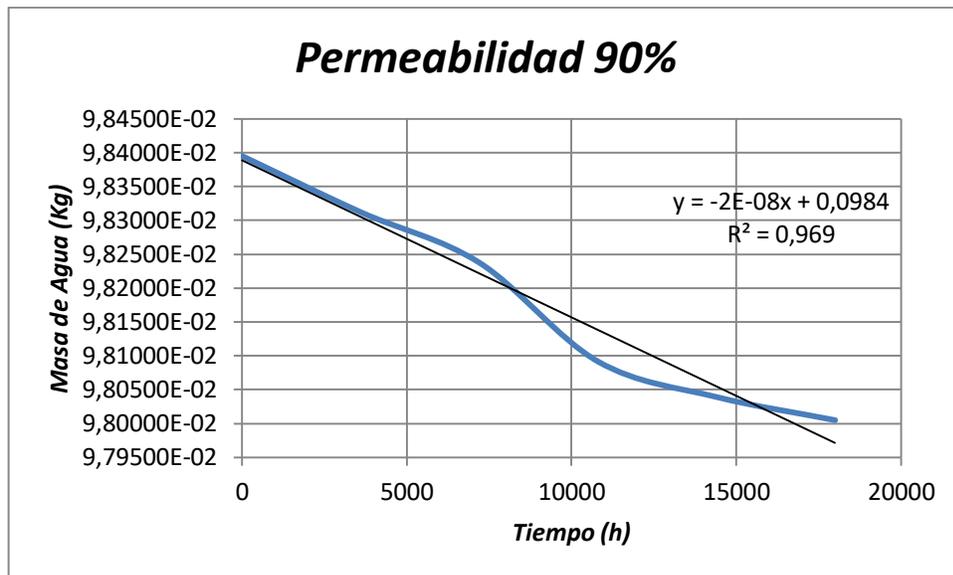
$$VTVA_{90\%} = \frac{-2 \times 10^{-8} \text{Kg}}{18000 \text{s} * 7,07 \times 10^{-4} \text{m}^2} = \frac{-1,57 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$PVA_{90\%} = \frac{\left(\frac{-1,57 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}\right) * 2 \times 10^{-4} \text{m}}{23331,41 \text{Pa} (50\% - 75\%)} = \frac{5,39 \times 10^{-19} \text{Kg}}{\text{Pa} * \text{m} * \text{s}}$$

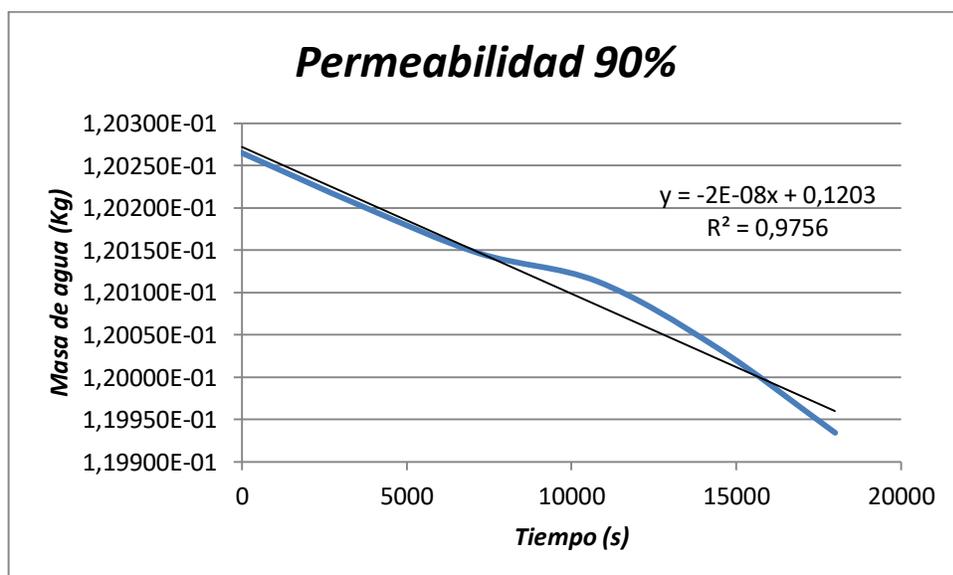
<b>VTVA</b>	-1,57E-09	
<b>PVA</b>	5,390E-19	Kg/Pa*m*s

<b>VTVA</b>	-1,57E-09	
<b>PVA</b>	5,390E-19	Kg/Pa*m*s

<b>Tiempo (s)</b>	<b>Masa de agua (Kg)</b>
0	9,83951E-02
3600	9,83122E-02
7200	9,82376E-02
10800	9,80916E-02
14400	9,80391E-02
18000	9,80049E-02



Tiempo (s)	Masa de agua (Kg)
0	1,20265E-01
3600	1,20203E-01
7200	1,20146E-01
10800	1,20113E-01
14400	1,20035E-01
18000	1,19934E-01



**ANEXO F.**  
**TABLAS, GRAFICAS Y CALCULOS CORRESPONDIENTES A LA**  
**EVALUCACION DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE LAS**  
**PELICULAS CON COMPOSICION DE 100% PVOH.**

<b>Masa recipiente</b>	3,75892E-02	Kg
<b>Diámetro</b>	0,02	m
<b>Área</b>	3,14E-04	m <sup>2</sup>
<b>Espesor</b>	2E-04	m
<b>Humedad interior</b>	75	%
<b>Humedad exterior</b>	50	%
<b>Presión parcial vapor</b>	23331,41	Pa
<b>Tiempo</b>	18000	S

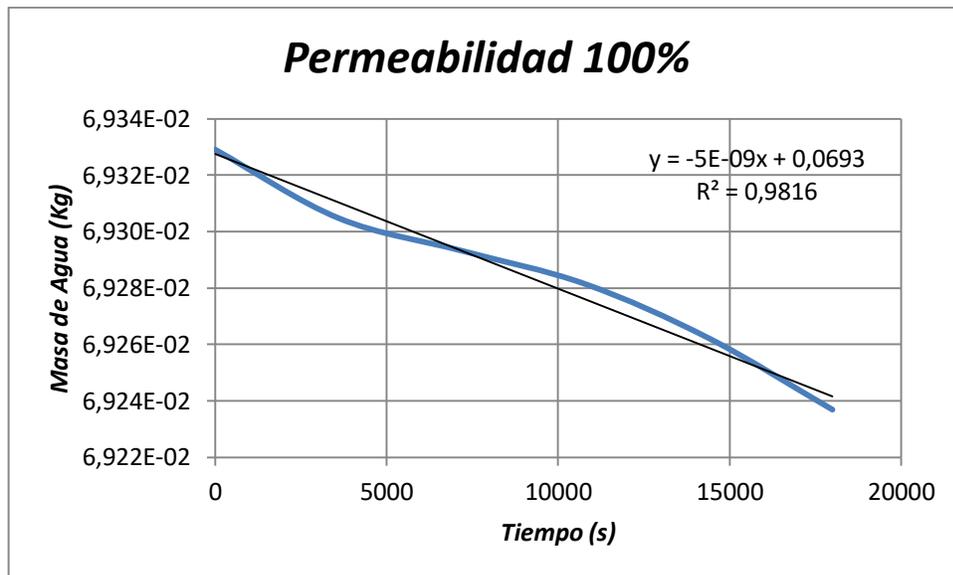
$$VTVA_{100\%} = \frac{-5 \times 10^{-8} \text{Kg}}{18000 \text{s} * 7,07 \times 10^{-4} \text{m}^2} = \frac{-8,84 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$PV_{100\%} = \frac{\left(\frac{-8,84 \times 10^{-9} \text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}\right) * 2 \times 10^{-4} \text{m}}{23331,41 \text{Pa} (50\% - 75\%)} = \frac{3,03 \times 10^{-19} \text{Kg}}{\text{Pa} * \text{m} * \text{s}}$$

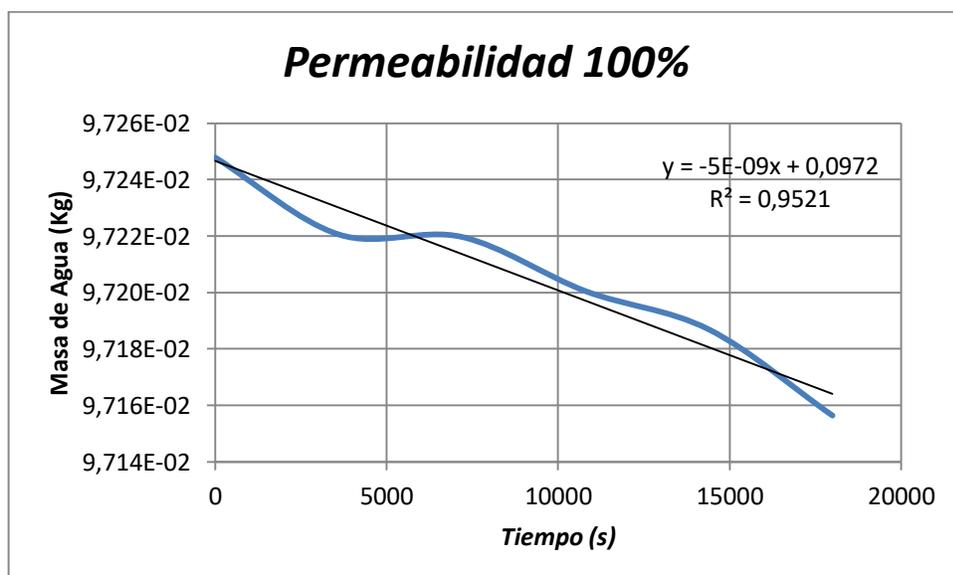
<b>VTVA</b>	-8,84E-10	
<b>PVA</b>	3,03E-19	Kg/Pa*m*s

<b>VTVA</b>	-8,84E-10	
<b>PVA</b>	3,0317E-19	Kg/Pa*m*s

<b>Tiempo (s)</b>	<b>Masa de agua (Kg)</b>
0	6,933E-02
3600	6,930E-02
7200	6,929E-02
10800	6,928E-02
14400	6,926E-02
18000	6,924E-02



Tiempo (s)	Masa de agua (Kg)
0	9,725E-02
3600	9,722E-02
7200	9,722E-02
10800	9,720E-02
14400	9,719E-02
18000	9,716E-02



**ANEXO G.**  
**CALCULOS PARA LA EVALUACION DE LA PERMEABILIDAD EL AGUA, LA DENSIDAD Y LA ADSORCION DE AGUA DE LAS PELICULAS CON COMPOSICION DE 100% PVOH.**

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m * g}{A} = \frac{0,05kg * 9,8m/s^2}{3,132x10^{-6}m^2} = 155971,84 \text{ pa}$$

$$P_w = \frac{2,364x10^{-3}Kg * 2x10^{-4}m}{3,132x10^{-6}m^2 * 86400s * 155971,84 \text{ pa}} = \frac{1,117x10^{-10}Kg}{Pa * m * s}$$

$$P_w = \frac{2,887x10^{-3}Kg * 2x10^{-4}m}{3,132x10^{-6}m^2 * 86400s * 155971,84 \text{ pa}} = \frac{1,364x10^{-10}Kg}{Pa * m * s}$$

$$\rho = \frac{1,6426g}{1ml} = 1,6426g/ml$$

$$\rho = \frac{2,2665g}{2ml} = 1,1332g/ml$$

$$\%agua \text{ adsorbida} = \frac{2,412g - 1,441g}{2,412g} * 100\% = 40,26\%$$

$$\%agua \text{ adsorbida} = \frac{5,449g - 3,496g}{5,449g} * 100\% = 35,84\%$$

**ANEXO H.  
FICHA TECNICA DE LA PELICULA PRODUCIDA A PARTIR DE  
ALMIDON/PVOH**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>Permeabilidad al vapor de agua</b>	3,032E-18	Kg/Pa*m*s
<b>Permeabilidad al agua</b>	1,240E-10	Kg/Pa*m*s
<b>Densidad</b>	1,3877	g/cm <sup>3</sup>
<b>Adsorción de agua</b>	38,05	%
<b>Resistencia a la degradación</b>	Poco resistente a ácidos fuertes	
<b>Esterilización</b>	Calor húmedo	
<b>Degradabilidad</b>	Biodegradable	

## ANEXO I. FICHAS DE SEGURIDAD DE LAS SUSTANCIAS USADAS PARA LA ELABORACION Y LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PELICULAS POLIMERICAS



### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **ALMIDON DE MAIZ**  
Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



NPA

#### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

##### PRODUCTO

Nombre Químico: ALMIDON  
Número CAS: 9005-25-8  
Sinónimos: Almidón de Maíz

COMPAÑIA: GTM

##### Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00  
Guatemala: +502 66285858  
El Salvador: +503 22517700  
Honduras: +504 2540 2520  
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA; +505 22897395  
Costa Rica: +506 25370010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
Panamá: +507 5126182 – Emergencias 9-1-1  
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
Perú: +511614 65 00  
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1  
Argentina +54 115031 1774

#### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Ingrediente Peligroso	CAS No.	%
Storch NP*	CAS : 9005-25-8	100%

(\* ) El ingrediente indicado como peligroso ha sido evaluado de acuerdo con las normas de la OSHA (Administración de seguridad y salud ocupacionales) de Estados Unidos sobre comunicación de riesgos par ala seguridad en el lugar de trabajo (29 CFR (Código de reglamentos federales) 1910.1200).

#### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: No regulado  
Clasificación NFPA: Salud: 1    Inflamabilidad: 1    Reactividad: 0

Página 1 de 6



#### EFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Palabra Indicadora: ¡ADVERTENCIA!  
Declaración de riesgo: Puede provocar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias.

#### EFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

**Inhalación:** Puede provocar irritación de la nariz, la garganta y los pulmones.  
**Ingestión:** La ingestión de cantidades grandes puede provocar obstrucción intestinal parcial, anemia por deficiencia de hierro, reducción del colesterol y posible hipertrofia de las glándulas parótidas.  
**Contacto con los ojos:** Puede provocar irritación.  
**Contacto con la piel:** Puede causar irritación.  
**Vía de penetración:** Por inhalación, contacto cutáneo o ingestión.

#### SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

**Contacto Ocular:** Lave bien los ojos inmediatamente al menos durante 15 minutos. Si se produce irritación o ésta persiste busque atención médica.  
**Contacto Dérmico:** Lave la piel con abundante agua y jabón Retirar la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa y limpiar los zapatos antes de usarlos nuevamente. Si se produce irritación o ésta persiste busque atención médica.  
**Inhalación:** Trasladar a la persona al aire libre. Si la respiración se ha detenido, dar respiración artificial. Buscar atención medica inmediatamente.  
**Ingestión:** Si se ingiere obtener atención médica. No se debe inducir el vomito a menos que el personal médico así lo indique. Nunca administre nada por vía oral a una persona inconsciente. Buscar atención médica inmediata.

#### SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

**Riesgos Generales:** Si la mezcla de aire y polvo se inflama puede producirse una explosión. El incendio de esta sustancia puede emitir gases tóxicos.  
**Instrucciones para combatir incendios:** Se debe utilizar un equipo de respiración autónomo a presión positiva y un equipo completo de protección contra incendios. Evacuar el área y combatir el fuego desde una distancia segura. Para que el polvo se deposite en el suelo, utilizar un atomizador de agua o vapor.  
**Medios de extinción:** Utilizar dióxido de carbono, químicos en polvo o un atomizador de agua.

Página 2 de 6



**Productos combustibles peligrosos:** Emite gases tóxicos de monóxido de carbono y dióxido de carbono.

**Punto de ebullición:** No hay información disponible

**Inflamación espontánea:** >380°C (>716°F) (nube de polvo).

**Equipo de protección personal (PPE) para combatir incendios:** Se recomienda que los bomberos usen el equipo de respiración autónoma y un equipo completo de protección contra el fuego.

**Concentración explosiva mínima para el polvo/vapor:** No hay información disponible.

**Límites de inflamabilidad:** Por debajo de 0.04 g/L.

#### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

**Medidas Generales:** Repasar las secciones 3, 8 y 12 antes de proceder con la limpieza. Eliminar las posibles fuentes de ignición (por ejemplo fuentes de calor, chispas, llamas, impacto, fricción, electricidad), y seguir los procedimientos apropiados para la puesta a masa y las conexiones. Evitar la inhalación y el contacto directo. Usar equipos apropiados de protección personal durante todas las actividades de limpieza.

**Derrames Menores:** Contener la fuente del derrame o pérdida si es posible hacerlo sin peligro. Retirar con aspiradora o barrer la sustancia colocándola dentro de recipientes apropiados de recuperación. Limpiar completamente el área del derrame. Evitar descarga a los canales de drenaje.

**Derrames Mayores:** Recoger el material derramado mediante cucharón o pala y colocarlo dentro de un recipiente etiquetado para su eliminación. Cerrar el recipiente y trasladarlo a un área de espera segura. Limpiar completamente el área del derrame. Recoger el agua de la limpieza con material absorbente no combustible y trasladarla a un recipiente etiquetado para su tratamiento y eliminación. Utilizar medidas apropiadas de contención para evitar la contaminación ambiental. Evitar que se escurra a través de los canales de desagüe, alcantarillado o corrientes de agua.

#### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**Manipulación General:** Eliminar las posibles fuentes de ignición (por Ej, calor, chispas, llama, impactos, fricción, electricidad) y seguir los procedimientos apropiados para la puesta a masa y las conexiones. Minimizar la generación y acumulación de polvo. Utilizar únicamente en un área bien ventilada. Evitar el contacto con los ojos. Evitar la inhalación del polvo.

**Condiciones de Almacenaje:** Conservar protegido de la luz solar en un área bien ventilada, a temperatura ambiente. Cuando no esté en uso, mantener el recipiente bien cerrado.

**Límites de Temperatura de Almacenamiento:** 15° a 25°C.



#### SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Límites de Exposición	Emisor	Tipo	OEL
Compuesto Starch NF	OSHA	TWA-8 HR	5 mg/m <sup>3</sup> (respirable fraction)
	OSHA	TWA-8 HR	15 mg/m <sup>3</sup> (total dust)
	ACGIH	TWA-8 HR	10 mg/m <sup>3</sup>

**Método Analítico:** Filtro de partículas, gravimétrico, NIOSH III # 500, polvo molesto (total), #0600 (inhalable).

**Ventilación:** Utilizar cercamientos del proceso, ventilación local con escape u otros controles mecánicos para mantener el nivel de materia en suspensión del aire por debajo de los límites de exposición recomendados. Para la utilización en laboratorio, manipular debajo de una campana de ventilación.

**Protección de los ojos:** Usar gafas protectoras. Se debe mantener en el trabajo un área destinada al lavado de los ojos.

**Protección de la piel:** Usar vestimenta de protección (uniformes, botas de laboratorio, trajes de trabajo desechables, etc.) tanto en las áreas de producción como en las de los laboratorios.

**Protección de las manos:** Los guantes protectores no son obligatorios pero se recomienda su uso.

**Protección respiratoria:** Si se excede el Límite de Exposición Ocupacional (OEL) aplicable, se debe usar un respirador adecuado con un factor de protección suficiente para mantener la exposición por debajo del nivel del OEL.

#### SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Aspecto Físico:	Polvo fino
Color:	Blanco
Olor:	Olor variable
Sabor:	Sabor característico
Peso molecular:	No hay información disponible
Formula molecular:	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>
pH:	5.0 a 7.0 (solución al 2%)
Punto de ebullición:	No hay información disponible
Punto de fusión:	No hay información disponible

Densidad:	1,5
Gravedad específica:	1,45
presión de vapor:	No aplica
Solubilidad en agua:	Soluble a 100°C
Solubilidad en solvente:	No hay información disponible

### SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	Estable
Condiciones a evitar:	Generación de polvo, altas temperaturas y fuentes de ignición.
Reactividad:	No hay información disponible
Incompatibilidades:	Oxidantes
Polimerización peligrosa:	No se producirá
Propiedades oxidantes:	No aplica
Propiedades explosivas:	Las mezclas de polvo y aire pueden explotar si se inflaman.
Límites de potencia explosiva:	No hay información disponible.

**Productos peligrosos de descomposición:** Esta sustancia se descompone en su punto de fusión. (ver sección 5: Productos de combustión peligrosos).

### SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

<b>Toxicidad Aguda</b>				
<b>Compuesto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vía</b>	<b>Especies</b>	<b>Dosis</b>
Starch NF	LD <sub>50</sub>	IP	Ratones	6.600 mg/kg
<b>Efectos en los ojos:</b> No hay información disponible. Ver sección 3				
<b>Efectos en la piel:</b> No hay información disponible. Ver sección 3				
<b>Inhalación:</b> No hay información disponible. Ver sección 3				
<b>Ingestión:</b> Se ha reportado que los DL <sub>50</sub> intraperitoneales agudos para el almidón en ratones es de 6,600 mg/kg.				
<b>Propiedades mutagénicas:</b> No hay información disponible.				
<b>Efectos subcrónicos:</b> No hay información disponible.				
<b>Toxicidad crónica:</b> Ver sección Efectos Crónicos / carcinógenos				
<b>Efectos crónicos/carcinógenos:</b> No se han llevado a cabo estudios a largo plazo para evaluar la toxicidad crónica o el potencial carcinogénico de esta sustancia en animales de laboratorio.				
<b>Clasificación Carcinógena de la OSHA:</b>	Ninguna			
<b>Clasificación Carcinógena de NTP:</b>	Ninguna			
<b>Clasificación Carcinógena de IARC:</b>	Ninguna			
<b>Efectos sobre la reproducción:</b>	No hay información disponible			
<b>Teratogénesis:</b>	No hay información disponible			
<b>Personas con mayor riesgo por exposición:</b>	Las personas con afecciones respiratorias pueden ser más susceptibles a la toxicidad en caso de exceso de exposición.			

### SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

información general sobre el medio ambiente: No se espera que la utilización y la eliminación de esta sustancia, su metabolitos y productos degradados causen efectos adversos en los animales, plantas, seres humanos u otros organismos o en el medio ambiente.

#### Toxicidad acuática:

<b>Compuesto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Especies</b>	<b>Dosis</b>
Starch NF	LC <sub>50</sub> /96h	Silver perch	5.000 mg/L
	EC <sub>50</sub> /96h	Virginia oyster	3.000 mg/L

### SECCION 13 :CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

<b>Tratamientos de residuos:</b>	Tratar según legislación vigente
<b>Eliminación de envases:</b>	Lavar y descartar según legislación vigente

### SECCION 14 :INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

<b>Instrucciones generales de embarque:</b>	No reglamentadas
<b>Nombre de IATA:</b>	No reglamentado

### SECCION 15 :INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. ST55-053-04

Costa Rica: Decreto N° 28113-5

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

### SECCION 16 :INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

#### CONTROL DE REVISIONES Y CAMBIOS DE VERSIÓN:

Agosto 2014. Se actualizan las secciones 1, 15 y 16.



## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **ALCOHOL POLIVINILICO**  
Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



NFPA

### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

#### PRODUCTO

Nombre Químico: ALCOHOL POLIVINILICO – (CH<sub>2</sub>CHOH)<sub>n</sub>  
Número CAS: 9002-89-5  
Sinónimos: Etenol; Homopolímero; PVA; PVOH

COMPañIA: GTM

#### Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00  
Guatemala: +502 66285858  
El Salvador: +503 22517700  
Honduras: +504 2540 2520  
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395  
Costa Rica: +506 25370010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
Panamá: +507 5126182 – Emergencias 9-1-1  
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
Perú: +511614 65 00  
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1  
Argentina +54 115031 1774

### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

ALCOHOL POLIVINILICO CAS: 9002-89-5 100%

### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: No regulado  
Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 2 Reactividad: 0



### EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

**Visión general sobre las emergencias:** Apariencia: blanco a crema. Puede ocasionar irritación a la piel, ojos, tracto respiratorio y digestivo. Estudios en animales han demostrado efecto inhibidor de la coagulación de la sangre. La formación de polvo, no tiene mayores repercusiones; sin embargo por encima de 200 °C se generan humos irritantes a la nariz y garganta. Los síntomas asociados son: sensación de quemadura dolorosa, inflamación y enrojecimiento.

**Inhalación:** Puede generar algunas alteraciones en el tracto digestivo.  
**Ingestión:** Puede producir irritación en la piel.  
**Piel:** Puede causar irritación mecánica.  
**Ojos:** Puede causar irritación mecánica.  
**Efectos crónicos:** No hay información disponible sobre estudios en humanos. Estudios en animales han mostrado un descenso en el número de eritrocitos y hemoglobina, dando como resultado la completa inhibición de la coagulación.

### SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

**Inhalación:** Si se presenta malestar, trasladar a la víctima al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener a la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.  
**Ingestión:** Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. Buscar atención médica si la irritación o síntomas se desarrollan.  
**Piel:** Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica si la irritación se desarrolla o persiste.  
**Ojos:** Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

**Nota para los médicos:** Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

### SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

**Punto de inflamación (°C):** 79 C.a.  
**Límites de inflamabilidad (N/V):** N.A.  
**Temperatura de autoignición (°C):** 426

**Peligros de incendio y/o explosión:** Sólido Combustible. Su potencial de fuego es moderado cuando está expuesto al calor o llama abierta. Las partículas de polvo finamente dispersas en suficiente concentración y en presencia de fuentes de ignición representan un peligro potencial de explosión.

**Medios de extinción:** Espuma tipo alcohol, dióxido de carbono y polvo químico seco.

**Productos de la combustión:** Monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua, ácidos orgánicos y alcohol.

**Precauciones para evitar incendio y/o explosión:** Mantener alejado de toda fuente de ignición y calor. Mantener retirado de materiales incompatibles. Evitar la acumulación de polvos y mantener ventilación adecuada.

**Instrucciones para combatir el fuego:** Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Retirar los contenedores que están expuestos si puede hacerlo sin riesgo, en caso contrario, enfriarlos aplicando agua en forma de rocío desde una distancia segura. Si las válvulas o tanques se decoloran, alejarse de inmediato del área afectada porque existe un riesgo inminente de explosión.

**Información Especial:** En el caso de un fuego, usar vestidos protectores completos y aprobados por NIOSH y equipo autónomo de respiración con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Evacuar o aislar el área de peligro. Retirar y alejar cualquier fuente de ignición o calor. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Recoger y depositar en recipientes herméticos para su posterior disposición.

### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**Manejo:** Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Mantener retirado de materiales incompatibles.

**Almacenamiento:** Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Mantener alejado de materiales incompatibles. Evitar la formación de polvos. Guardar en contenedores cerrados. Rotular los recipientes adecuadamente.

### SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

**Controles de ingeniería:** Utilizar recintos de proceso, ventilación local u otros controles para mantener los niveles de aire por debajo de los límites de exposición recomendados. Si la operación genera polvo, humos o niebla, utilizar la ventilación para mantener la exposición a los contaminantes en el aire por debajo del límite de exposición.

**Protección personal:** Usar gafas de seguridad. Bata de laboratorio. Un respirador. Asegúrese de utilizar un respirador certificado / aprobado o equivalente. Guantes.

**Protección personal en caso de un derrame importante:** Usar lentes anti-salpicaduras. Traje completo. Un respirador. Botas. Guantes. Un aparato respiratorio autónomo debe utilizarse para evitar la inhalación del producto. La ropa de protección sugerida podría no ser suficiente; consultar a un especialista antes de manipular este producto.

### SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

**Estado físico:** Sólido

**Color:** Claro

**Olor:** Característico a alcohol ( semejante al de una mezcla de etanol y acetona)

### SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Estabilidad:** Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento.

**Productos de descomposición peligrosos:** La combustión completa emite dióxido de carbono y agua cuando se calienta hasta la descomposición. La combustión incompleta genera, además del monóxido de carbono y productos de oxidación, ácidos orgánicos, aldehídos y alcohol.

**Polimerización peligrosa:** No ocurrirá.

**Incompatibilidades:** Oxidantes fuertes.

**Condiciones a evitar:** De calor, llamas, fuentes de ignición, polvo e incompatibles.

### SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

DL50 oral en ratas: > 20 gm / kg. Ha sido investigado como tumorigeno.

**Rutas de entrada:** Inhalación. Ingestión.

**Toxicidad en los animales:**



Toxicidad oral aguda (DL50): 14700 mg / kg [Ratón].  
Toxicidad oral aguda (DL50):> 20000 mg / kg [Rata].



**Efectos crónicos en los seres humanos:**  
Efectos cancerígenos: 3 No clasificable para los humanos por la IARC.

**Otros efectos tóxicos en seres humanos:** Ligeramente peligroso en caso de contacto cutáneo (irritante), de ingestión e inhalación.

**Observaciones especiales sobre los efectos crónicos en los seres humanos:** Puede causar cáncer (oncogénico), basado en estudios con animales. No hay datos en seres humanos actualmente.

**Observaciones especiales sobre otros efectos tóxicos en el hombre**

**Aguda potenciales para la salud:**  
**De la piel:** Puede causar irritación de la piel.

**Ojos:** Puede causar irritación ocular.

**Ingestión:** Puede causar problemas gastrointestinales (digestivos) irritación de las vías. Pueden afectar el comportamiento del sistema nervioso central (los síntomas

pueden incluir la actividad deprimida en general, el tiempo de sueño alterado, debilidad muscular). También puede afectar a la sangre y el metabolismo.

**Inhalación:** Puede causar irritación de las vías respiratorias.

#### SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

**Ecotoxicidad:**  
Ecotoxicidad en agua (LC50): 10000 mg / l 96 horas [Pez sol]. > 40000 mg / l 96 horas [Fathead Minnow].

**Productos de Biodegradación:** Productos de degradación peligrosos a corto plazo no son probables. Sin embargo, los productos de degradación a largo plazo pueden surgir.

**Toxicidad de los productos de biodegradación:** El producto en sí y sus productos de degradación no son tóxicos.

#### SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

**Tratamientos de residuos:** Tratar según legislación vigente  
**Eliminación de envases:** Lavar y descartar según legislación vigente

#### SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

No regulado.



#### SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

**México:** NOM-018-ST5-2000  
**Guatemala:** Código de Trabajo, decreto 1441  
**Honduras:** Acuerdo Ejecutivo No. ST55-053-04  
**Costa Rica:** Decreto Nº 28113-5  
**Panamá:** Resolución #124, 20 de marzo de 2001  
**Colombia:** NTC 445 22 de Julio de 1998  
**Ecuador:** NTE INEN 2 266:200

#### SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

#### CONTROL DE REVISIONES Y CAMBIOS DE VERSIÓN:

Agosto 2014. Se actualizan las secciones 1, 15 y 16.

## Hoja de Datos de Seguridad (MSDS)

**Filamento PLA**  
(Nombre del producto)

**PLA-xx.yy-zz**  
(Identificación del producto)

### Descripción:

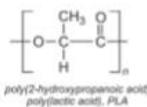
Filamento plástico (PLA) en bobina plástica y cartón. La bobina se protege en bolsa termosellada plástica con desecante al vacío, caja de cartón, y se identifica con una etiqueta de papel.

### Especificaciones del filamento:

Densidad: 1.24 g/cc D1505  
Temperatura de impresión: 190-220°C

### Identificación química:

Nombre: Poliláctido láctico  
Familia: Poliéster  
Nombres comunes: Poliláctido láctico, ácido poliláctico, PLA  
Fórmula: (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub>  
Estructura:



### Clasificación NFPA/HMIS



Riesgo según NFPA :  
Salud: 1  
Fuego: 1  
Reactividad: 0



HMIS Versión III:  
Salud: 1  
Inflamabilidad: 1  
Riesgo físico: 0  
Protección Personal: No determinado

### Información de riesgo para la salud

Bajo las condiciones recomendadas de procesamiento, el material tiene un bajísimo nivel de toxicidad. Si se sobrecalentara durante el proceso, sustancias potencialmente irritantes de las mucosas podrían ser liberadas.

El producto fundido puede causar quemaduras severas.

### Primeros auxilios

En caso de inhalación de productos de descomposición, lleve a la persona afectada al aire libre. En caso de dificultades para respirar, administre oxígeno. Consulte a un médico inmediatamente. Si se produjese contacto con la piel del plástico fundido, enfríe inmediatamente la zona con agua. No trate de retirarlo de la piel. Cubra con una venda estéril y busque ayuda médica. En caso de ingestión, consulte a un médico.  
Centro Nacional de Intoxicaciones (Argentina): 0-800-333-0160

### Precauciones de uso y almacenaje

En operaciones en las que pueda existir contacto con los ojos o la cara, se recomienda el uso de protección adecuada. Aunque no es irritante de la piel, se recomienda lavar las manos con agua y jabón después de su uso. El contacto con el producto fundido puede quemar seriamente la piel. Manéjese con cuidado. Extrude en un local bien ventilado. La exposición a los humos durante el proceso, puede causar irritación de las vías respiratorias, ojos y piel. En casos severos, podría causar náuseas y/o dolor de cabeza. Nunca queme filamento, los gases de combustión son perjudiciales.

### Métodos de control de exposición

Use en locales bien ventilados.

### Riesgos de inflamación y explosión

Mantenga alejado de llamas. Evite el sobrecalentamiento.

### Reactividad

Estabilidad: estable en las condiciones de almacenaje recomendadas  
Incompatibilidad: estable  
Solubilidad en agua: insoluble  
Polimerización: no aplicable  
Condiciones a evitar: exposición a la llama o a temperaturas superiores a 230°C (446°F) por períodos de tiempo prolongados.  
Combustión: Productos peligrosos durante la combustión: aldehídos, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

### Propiedades físicas

Estado físico: sólido  
Color: varía, dependiendo del colorante  
Olor: dulce  
Punto de fusión / rango de fusión (temperatura de ablandamiento) 95 - 105 °C

Temperatura de autoignición: 388 °C  
Descomposición térmica: > 250 °C

**Información ecológica - Eliminación de residuos**

No permita que el material contamine el agua.

Este producto es inherentemente biodegradable. No bioacumulable. No desechar en el medio ambiente.

Se recomienda reciclado. Desechar de acuerdo a la reglamentación local.

**Condiciones de almacenamiento**

Mantener en un contenedor hermético en un lugar fresco y seco, se recomienda el uso de silicagel.

Mantener a temperatura menor a 50° C.

Luego de un mes de almacenamiento, se recomienda secado a 50°C durante 2 a 4 hs.

**Restricciones referidas a aplicaciones médicas**

No se recomienda el uso de este producto: (A) en aplicaciones que estén o puedan estar en contacto con fluidos corporales o tejidos humanos (B) como componentes críticos en cualquier aparato médico de soporte de vida, y (C) en mujeres embarazadas o cualquier aplicación diseñada específicamente para promover o interferir en la reproducción humana.

La información declarada en esta Hoja de datos de seguridad proviene de fuentes que consideramos confiables. De todas maneras, esta información se provee sin garantías, expresas o implícitas.

Las condiciones de uso y almacenaje están fuera de nuestro control, por lo cual no nos hacemos responsables por cualquier daño o pérdida que pueda resultar directa o indirectamente del uso, almacenamiento y disposición final de este producto.