



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* EN LA DEGRADACIÓN DE BIOPLÁSTICO ELABORADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: MARISOL ALEJANDRA ERAZO PÉREZ

TUTORA: DRA. YOLANDA DOLORES DÍAZ HEREDIA

Riobamba-Ecuador

2018

© **2018**, Marisol Alejandra Erazo Pérez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Trabajo de titulación experimental certifica que: El trabajo de investigación: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* EN LA DEGRADACIÓN DE BIOPLÁSTICO ELABORADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO”, de responsabilidad de la señorita egresada Marisol Alejandra Erazo Pérez, ha sido prolijamente revisada por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Marisol Alejandra Erazo Pérez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Marisol Alejandra Erazo Pérez
CI: 180419908-9

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso y cumplir un sueño más.

A mis padres Silvia y Patricio, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he podido llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija.

A mi hermano Marcos por ser apoyo fundamental en mi diario vivir y por todo el cariño brindado.

Marisol.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y acogerme con mucho cariño a lo largo de estos años. Por brindarme una de las mejores experiencias de mi vida.

A la Dra. Yolanda Díaz por dirigir mi trabajo de titulación con paciencia y dedicación, al Ing. Carlos Medina por brindar un gran aporte en la realización del mismo.

A todos aquellos que formaron parte de mi vida estudiantil y aportaron un granito de arena en esta formación académica, amigos y profesores.

Marisol.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------|------|
| RESUMEN..... | xii |
| SUMMARY..... | xiii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... | 5 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación | 5 |
| 1.2. Polímeros | 6 |
| 1.2.1. <i>Características de los polímeros</i> | 6 |
| 1.2.2. <i>Clasificación de los polímeros</i> | 7 |
| 1.2.3. <i>Polímeros sintéticos</i> | 7 |
| 1.2.4. <i>Polímeros naturales</i> | 8 |
| 1.2.5. <i>Almidón</i> | 9 |
| 1.2.5.1. <i>Maíz</i> | 10 |
| 1.2.5.2. <i>Plátano</i> | 10 |
| 1.2.6. <i>Bioplásticos</i> | 11 |
| 1.2.6.1. <i>Clasificación</i> | 12 |
| 1.2.7. <i>Biodegradación</i> | 13 |
| 1.2.7.1. <i>Tipos de biodegradación</i> | 13 |
| 1.2.8. <i>Microorganismos</i> | 13 |
| 1.2.8.1. <i>Hongos</i> | 14 |
| 1.2.8.2. <i>Hongos Filamentosos</i> | 15 |
| 1.2.8.3. <i>Aspergillus niger</i> | 15 |
| 1.2.8.4. <i>Penicillium spp</i> | 16 |

CAPÍTULO I I

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2. | MARCO METODOLÓGICO | 17 |
| 2.1. | Metodología de la investigación..... | 17 |
| 2.1.1. | <i>Lugar de la investigación</i> | 17 |
| 2.1.2. | <i>Hipótesis y especificación de las variables</i> | 17 |
| 2.1.3. | <i>Tipo y diseño de la investigación</i> | 18 |
| 2.1.4. | <i>Población de estudio</i> | 18 |
| 2.1.5. | <i>Tamaño de la muestra</i> | 18 |
| 2.1.6. | <i>Selección de la muestra</i> | 19 |
| 2.1.7. | <i>Técnicas de Recolección de Datos</i> | 19 |
| 2.2. | Procedimientos realizados en el estudio..... | 20 |
| 2.2.1. | <i>Proceso metodológico de Almidón de Plátano</i> | 20 |
| 2.2.2. | <i>Proceso metodológico del Bioplástico.....</i> | 20 |
| 2.2.3. | <i>Proceso metodológico de siembra Aspergillus niger y Penicillium spp con el bioplástico elaborado.....</i> | 21 |
| 2.2.4. | <i>Medición de pH</i> | 21 |
| 2.2.5. | <i>Prueba de Yodo</i> | 22 |
| 2.2.6. | <i>Pruebas Gravimétricas.....</i> | 22 |

CAPÍTULO I I I

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 23 |
| 3.1. | Análisis de resultados | 23 |
| 3.2. | Resultados de degradación del bioplástico con <i>Penicillium spp</i>..... | 23 |
| 3.2.1. | <i>Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 30 días</i> | 24 |
| 3.2.2. | <i>Porcentaje de degradación del bioplástico a los 30 días</i> | 24 |
| 3.2.3. | <i>Prueba de pH del bioplástico a los 30 días</i> | 25 |
| 3.2.4. | <i>Prueba de lugol del bioplástico a los 30 días</i> | 25 |
| 3.2.5. | <i>Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 60 días</i> | 26 |
| 3.2.6. | <i>Porcentaje de degradación del bioplástico a los 60 días</i> | 27 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.2.7. | <i>Variación de pH del bioplástico a los 60 días</i> | 28 |
| 3.2.8. | <i>Prueba de lugol del bioplástico a los 60 días</i> | 28 |
| 3.3. | Resultados de la degradación con <i>Aspergillus niger</i> | 29 |
| 3.3.1. | <i>Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 30 días</i> | 29 |
| 3.3.2. | <i>Porcentaje de degradación del bioplástico a los 30 días</i> | 30 |
| 3.3.3. | <i>Prueba de pH del bioplástico a los 30 días</i> | 30 |
| 3.3.1. | <i>Prueba de lugol del bioplástico a los 30 días</i> | 31 |
| 3.3.2. | <i>Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 60 días</i> | 32 |
| 3.3.3. | <i>Porcentaje de degradación del bioplástico a los 60 días</i> | 32 |
| 3.3.4. | <i>Variación de pH a los 60 días</i> | 33 |
| 3.3.5. | <i>Prueba de lugol del bioplástico a los 60 días</i> | 33 |
| 3.4. | DISCUSIÓN | 34 |
| | CONCLUSIONES | 35 |
| | RECOMENDACIONES | 36 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1 Clasificación de los polímeros | 7 |
| Tabla 2-1 Ventajas y desventajas de los bioplásticos..... | 12 |
| Tabla 1-3 Resultados de la degradación del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> obtenidos a los 30 días..... | 23 |
| Tabla 2-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 30 días | 26 |
| Tabla 3-3 Resultados de la degradación del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> obtenidos a los 60 días..... | 26 |
| Tabla 4-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 60 días | 28 |
| Tabla 5-3 Resultados de la degradación del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> obtenidos a los 30 días..... | 29 |
| Tabla 6-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 30 días | 31 |
| Tabla 7-3 Resultados de la degradación del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> obtenidos a los 60 días..... | 31 |
| Tabla 8-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 60 días | 33 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1 Clasificación Biopolímeros | 12 |
| Figura 2-1 Características morfológicas <i>Aspergillus</i> | 16 |
| Figura 3-1 Características morfológicas <i>Penicillium spp.</i> | 16 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gráfico 1-3 | Pruebas Gravimétricas del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 30 días | 24 |
| Gráfico 2-3 | Porcentaje de degradación del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 30 días | 24 |
| Gráfico 3-3 | Resultados de pH del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 30 días | 25 |
| Gráfico 4-3 | Pruebas Gravimétricas del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 60 días | 26 |
| Gráfico 5-3 | Porcentaje de degradación del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 60 días | 27 |
| Gráfico 6-3 | Resultados de pH del bioplástico con <i>Penicillium spp</i> a los 60 días | 28 |
| Gráfico 7-3 | Pruebas Gravimétricas del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 30 días..... | 29 |
| Gráfico 8-3 | Porcentaje de degradación del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 30 días... | 30 |
| Gráfico 9-3 | Resultados de pH del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 30 días..... | 30 |
| Gráfico 10-3 | Pruebas Gravimétricas del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 60 días..... | 32 |
| Gráfico 11-3 | Porcentaje de degradación del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 60 días... | 32 |
| Gráfico 12-3 | Resultados de pH del bioplástico con <i>Aspergillus niger</i> a los 60 días..... | 33 |

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el comportamiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* en la degradación de bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano a nivel de laboratorio. El plástico es un material contaminante para la naturaleza y con un período de degradación largo, generando un problema ambiental muy grave. En busca de una solución se han creado bioplásticos que son de fácil degradación, pero con costos mayores a los polímeros existente. Se realizaron 20 unidades experimentales con el bioplástico más 2 unidades de control, incubadas a una temperatura de 28 °C. Se hicieron pruebas gravimétricas, variación de pH y pruebas de lugol a los 30 y 60 días de la fase experimental. Se determinó que la cepa *Aspergillus niger* tuvo mayor degradación del bioplástico con 20 % y un pH final de 3,41. Por otro lado la mayor degradación registrada de *Penicillium spp* fue 8 % con un pH final de 3,47. Los resultados obtenidos para las dos cepas, fueron a los 60 días de la fase experimental. Por medio de la prueba de lugol en los bioplásticos se determinó que aún existe la presencia de almidón, transcurrido el tiempo de experimentación, con lo cual se concluye que la degradación puede continuar.

PALABRAS CLAVE: <BIOTECNOLOGÍA>, <DEGRADACIÓN>, <HONGO *Aspergillus niger*>, <HONGO *Penicillium spp*>, <BIOPLÁSTICO>, <ALMIDÓN>

SUMMARY

The present study evaluated the behavior of *Aspergillus niger* and *Penicillium spp* in the degradation of bioplastic made from starch of banana peel at laboratory level. Plastic is a contaminating material for nature and with a long degradation period, generating a very serious environmental problem. In search of a solution, bioplastics have been created that are easily degradable, but with higher costs than the existing polymers. 20 experimental units were made with the bioplastic plus 2 control units, incubated at a temperature of 28 °C. Gravimetric test, pH variation and lugol tests were made at 30 and 60 days of the experimental phase. It was determined that the *Aspergillus niger* strain had greater degradation of the bioplastic with 20% and final pH of 3,41. On the other hand, the highest recorded degradation of *Penicillium spp* was 8% with a final pH of 3,47. The results obtained by the two strains were at 60 days of the experimental phase. By means of the lugol's test in the bioplastics, it was determined that there was still the presence of starch, after the time of experimentation, so that, it is concluded that the degradation can continue.

KEY WORDS: <BIOTECHNOLOGY>, <DEGRADATION>, <*Aspergillus niger* FUNGUS>, <*Penicillium spp* FUNGUS>, <BIOPLASTIC>, <STARCH>

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

La palabra plástico se refiere a ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos. En general, son derivados del petróleo, aunque algunos se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales. (Segura, Noguez y Espín 2007; p.361)

El aumento en la producción del plástico, así como su inadecuado manejo, se ha visto reflejado en una mayor acumulación de este material en los mares del mundo. De acuerdo a estimaciones del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cerca de ocho millones de toneladas de residuos plásticos se vierten en los océanos cada año, lo que equivale a vaciar un camión de basura cada minuto. (Programa Ambiental de las Naciones Unidas, 2018)

Al incorporarse el plástico a la vida cotidiana, una parte considerable de los desechos producidos comenzó a acumularse en el ambiente, precisamente por la resistencia de los plásticos a la corrosión, la intemperie y la degradación por microorganismos (biodegradación). Anualmente se producen varios millones de toneladas de plásticos en el mundo. (Segura, Noguez y Espín 2007; p.361)

Una de las estrategias que se ha venido utilizando para deshacerse de los plásticos derivados del petróleo es la incineración, este proceso es altamente contaminante y causa efectos negativos en el ambiente, tales como el incremento de CO₂ en la atmósfera y la liberación de compuestos químicos muy peligrosos, como las dioxinas, el cloruro y el cianuro de hidrógeno. (Segura, Noguez y Espín 2007; p.362)

La problemática generada por el uso indiscriminado de plásticos sintéticos y su persistencia en el ambiente ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y métodos de producción que permitan generar plásticos que presenten las mismas propiedades pero que tengan un periodo de degradación más corto. Se han desarrollado cuatro tipos de plásticos degradables: los fotodegradables, los semi-biodegradables, los biodegradables sintéticos y los completamente biodegradables naturales. (Segura, Noguez y Espín 2007; p.362)

El Plátano al ser una fruta muy utilizada en la vida cotidiana de las personas y ser una fruta común en nuestro país tiene una gran producción de desechos más aun en las industrias alimenticias que utilizan este para la fabricación de sus productos que podrían ser reutilizados en vez desecharlos a la basura.

El plátano en Ecuador es considerado un cultivo de creciente importancia socioeconómica, pues este país ocupa el cuarto lugar como productor de esta fruta a nivel mundial, con una producción anual de 7 931 000 toneladas.(Armendáriz, Landazuri y Taco, 2016; p.320)

La mayoría de la producción del banano del Ecuador, se destina básicamente a la exportación, el promedio anual que se vende al exterior es del 80% del total de la producción. Es por eso que Ecuador es considerado el primer exportador y cuarto productor de banano del mundo. Un 3,5% se destina al consumo humano interno; otro 3,5% al consumo animal y el 3% para la industria. Existe un 10% de volumen de biomasa considerada como desperdicio, que equivale a 662.260,852 toneladas anuales. (Macías, 2010; p.1). La cantidad de almidón contenida en la cáscara de plátano es aproximadamente de un 9% de su peso.

Por tal razón es necesario formularse la pregunta central ¿Existe degradación del bioplástico elaborado a partir de cáscara de plátano con microorganismos propios del ecosistema?

Justificación

Los bioplásticos se pueden elaborar a partir de cultivos de poliésteres microbianos o de almidón, celulosa. Pero la base de la elaboración del bioplástico se ha centralizado en el uso del almidón como materia prima, debido a su alta disponibilidad, bajo costo, biodegradable y a que es económicamente competitivo con el petróleo (Chariguamán, 2015; p.1)

El bioplástico, fabricado a partir de almidón de plátano comparte las características con los elaborados a través de derivados de petróleo. La mayor diferencia entre el plástico que actualmente se fabrica y el producido a partir de almidón, es que, el segundo es completamente biodegradable y no tóxico, una vez degradado puede usarse incluso como material de compostaje (abono). Esta ventaja proviene, precisamente, en el origen vegetal de la materia prima, lo que reduce nuestra dependencia del petróleo, que desde décadas domina nuestra sociedad. (Castillo et al. 2015; p. 35)

En el presente se elaboró un bioplástico a partir de cáscara de plátano y se evaluó la degradación del mismo con *Aspergillus niger* y *Penicillium spp*, se analizó la capacidad degradativa de las 2 cepas en estudio. Un bioplástico al ser elaborado con polímeros naturales como almidón tiene una degradación mucho más rápida que los plásticos elaborados de petróleo, ayudando a que el tiempo de degradación de un bioplástico utilizado a diario sea mucho menor, al utilizar las cáscaras de plátano para la elaboración de éste, es una alternativa viable para la utilización de este producto y convirtiéndole en algo útil para la sociedad aparte de que es de fácil degradación.

Aspergillus niger y *Penicillium spp* al tener amilasas y poder descomponer almidones crece en material en descomposición, por lo tanto del almidón de la cáscara de plátano obtiene su fuente de carbono y energía y degrada el bioplástico obtenido. Esta sería una alternativa viable a la problemática actual del mundo ya que su tiempo de degradación en el ambiente sería relativamente rápido. Se evaluó la degradación de este bioplástico con *Aspergillus niger* y *Penicillium spp*, determinando el porcentaje de degradación.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el comportamiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* en la degradación de bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano a nivel de laboratorio.

Objetivos Específicos

Elaborar un bioplástico a partir de la cáscara de Plátano a nivel de laboratorio.

Evaluar la degradación del biopolímero aplicando técnicas gravimétricas, análisis de pruebas de Yodo, comparación de pH y verificación el porcentaje de degradación de las unidades experimentales.

Comparar la degradación de las cepas microbianas en estudio.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

Antes de crearse los polímeros, la madre naturaleza era la única y exclusiva fuente de materiales con que el hombre contaba para la realización de sus herramientas, útiles y objetos de uso cotidiano. Las propiedades que ofrecían las piedras, las maderas o los metales no satisfacían todas las demandas existentes así que, el hombre en su innato afán de investigación y búsqueda comenzó a aplicar sustancias que suplieran estas carencias; se manipulan los polímeros. (Garcia S. , 2009)

En la investigación “Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera” El almidón ha sido empleado en los últimos años por su capacidad para formar películas, a pesar de que pueden actuar como barreras efectivas al transporte de gases (O₂ y CO₂), presentan elevada permeabilidad al vapor de agua. Por lo que esta investigación se realizó con el fin de elaborar un bioplástico combinando almidón de maíz, yuca y glicerol por el método casting, y evaluar su efecto en las propiedades físicas y de barrera. Se utilizó la metodología superficie respuesta definiendo como variables independientes la concentración de almidón de maíz respecto al almidón de yuca y porcentaje de glicerol. Las variables dependientes o respuesta: espesura, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua, diferencia de color, opacidad, perforación y elongación. Para las unidades experimentales se establecieron 4 puntos factoriales, 4 axiales y 5 repeticiones de un punto central para compararse contra una unidad control. (Muñoz, 2014)

En el artículo “Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz” (Garcia V. , 2015) se plantea un método de obtención (a escala de laboratorio) de un bioplástico a partir de almidón de maíz, que es un recurso natural renovable. Los plásticos biodegradables ofrecen una serie de ventajas cuando se comparan con los plásticos convencionales. Estos son completamente degradados en compuestos que no dañan el medio ambiente: agua, dióxido de carbono y humus. Tal y como se comprobó en la parte experimental. (García, 2015)

En la Investigación “Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón” se elaboró un biopolímero a partir de almidón de maíz. El almidón de maíz se mezcló con agua, modificadores químicos como el hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl) y glicerina que actúa como plastificante. Se utilizó un diseño de experimentos con quince variables donde se manipularon la cantidad de glicerina y el valor de pH, realizándose cinco repeticiones de cada experimento. Posteriormente, se estudió la influencia de estas variables sobre las propiedades mecánicas de los biopolímeros elaborados. Se analizaron las siguientes propiedades mecánicas: módulo de elasticidad [MPa], esfuerzo último [MPa] y elongación [%]. Finalmente, se realizó una comparación entre las propiedades mecánicas de los bioplásticos y las propiedades mecánicas de tres diferentes plásticos derivados de petróleo.(Narvárez, 2016)

1.2. Polímeros

Los polímeros son macromoléculas constituidas por moléculas pequeñas que se repiten a lo largo de una misma cadena, en el cuerpo humano se encuentra gran cantidad de polímeros naturales como son ADN, ARN, proteínas e hidratos de carbono. (Seymour & Carraher, 2002: pp. 181-183)

Según Martínez (1983), menciona que los polímeros son macromoléculas formadas por monómeros mediante enlaces covalentes, dependiendo de la disposición espacial de las unidades estructurales, los polímeros pueden ser lineales o ramificados. La mayoría de polímeros son orgánicos están formados por átomos de carbono, mientras que los polímeros sintéticos están formados por átomos de silicio. (Martínez, 1983: pp. 18-24)

En la naturaleza pueden encontrarse un sin número de polímeros, mismo que se integran por una reacción química conocida como polimerización, tanto polímeros naturales como sintéticos sufren este agrupamiento que da como resultado moléculas lineales o ramificadas con elevados pesos moleculares. (Miranda, 2015:p. 4)

1.2.1. Características de los polímeros

Los polímeros poseen un sin número de características, que vuelven a estas macromoléculas interesantes. (Gonzalez, 2015. pp: 65-67)

- Estabilidad térmica
- Solubilidad
- Densidad baja
- Reactividad química baja
- Dúctiles
- Punto de fusión bajos
- Aislantes térmicos y eléctricos
- Maleabilidad (Pontificia Universidad Católica de Perú 2011)

1.2.2. Clasificación de los polímeros

Los polímeros pueden clasificarse por diferentes criterios.

Tabla 1-1 Clasificación de los polímeros

| | Detalle | Clasificación |
|------------------|--------------------------------|---|
| Polímeros | Composición | <ul style="list-style-type: none"> • Homopolímeros • Heteropolímeros |
| | Origen | <ul style="list-style-type: none"> • Naturales • Sintéticos |
| | Estructura | <ul style="list-style-type: none"> • Lineales • Ramificados • Entrecruzados • Reticulados |
| | Comportamiento frente al calor | <ul style="list-style-type: none"> • Termoplásticos • Termoestables |

Fuente: Yurkanis, 2008. Polímeros sintéticos

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

1.2.3. Polímeros sintéticos

Son macromoléculas que se obtienen en el laboratorio o a nivel industrial a partir de sustancias que pueden encontrarse en la naturaleza, son creados por el hombre para desempeñar funciones específicas a nivel industrial y además poseen características particulares. (Textos Científicos 2013)

También se los considera como compuestos químicos producidos por la transformación química del petróleo y el carbón, gran parte de éstos se los puede encontrar en polvo seco, compuestos por poliacrilamida, éstos a su vez son usados en gran parte como floculantes para la remediación de aguas.

Los monómeros que se utilizan para realizar estos polímeros deben ser sometidos a rigurosos controles de calidad, debido a que algunos presentan niveles de toxicidad altos, lo que evita que todos los productos fabricados especialmente para la remediación y envasados de agua sean utilizados por la población. (Kirchmer., Arboleda & Castro., 2011: pp. 3-4)

Este tipo de polímeros son utilizados alrededor de todo el mundo, debido a que representan grandes ventajas tanto a nivel industrial como para el uso cotidiano, sin embargo la lenta degradación representa una gran desventaja pues, representan grandes problemas ambientales. Entre las ventajas se pueden mencionar:

- Bajos costes de producción
- Acabados superficiales buenos
- Durabilidad
- Versatilidad en los procesos de producción (Textos Científicos 2013)

1.2.4. Polímeros naturales

Son moléculas que se crean por reacciones bioquímicas que se generan dentro de los organismos vivos, la mayoría de estas moléculas no tienen una composición química definida, pues se encuentran constituidos por varios tipos de polisacáridos como proteínas, almidón, celulosa entre otros. (Kirchmer., Arboleda., & Castro., 2011: p. 2)

En 1920, Hermann Staudiger, químico alemán, emplea el término de macromolécula para definir a los materiales que son sintetizados en el interior de los seres vivos, entre los principales están el ámbar, el hasta natural, el caucho, la seda y la laca (Mondragor, 2011: pp.1-3) (García, 2009: pp 10-15)

En los últimos diez años, las industrias han modificado la creación de productos plásticos de baja densidad y los han combinado con biopolímeros o biomateriales que faciliten la descomposición de los productos, entre estas materias primas se encuentra.

- Polímeros extraídos de la biomasa
- Polímeros producidos por microorganismos
- Monómeros derivados de la biomasa (Ballesteros, 2014: pp 5-10)

1.2.5. Almidón

Es un polisacárido que junto a la celulosa representa una gran reserva de carbohidratos del mundo, constituye la mayor parte de hidratos de carbono digestibles y es una macromolécula que se forma por la unión repetitiva de glucosas que a su vez forman dos tipos de cadenas, una cadena lineal de amilosa y una cadena ramificada de amilopectina; la cantidad de estos polisacáridos varía según la procedencia del almidón. (Gallur, 2010: pp.16-19) (Mirel, 2001: pp 2-5)

Todos los almidones existentes pueden ser utilizados como adhesivos, enturbiantes, estabilizantes de espumas, espesante, gelificante, humectantes, tanto en la industria alimentaria como en la farmacéutica. El almidón es un polisacárido que puede ser degradado por enzimas denominadas amilasas, éstas se producen en las glándulas salivares y el páncreas de los mamíferos. (Hermida, 2011: p.63-66) (Mirel, 2001: pp 2-5)

El almidón forma parte importante en la composición de algunos productos, se encuentra en porcentajes variables dependiendo del tipo y la procedencia del producto agrícola, mientras que en las leguminosas forma parte del 25 al 50%, en los tubérculos abarca del 60 al 90% y en las frutas que no han alcanzado su etapa de madurez como el plátano y el mango verde el contenido de almidón es de 70% en base seca. (Flores-Gorosquera, et. al., 2004: p.86)

Propiedades funcionales del almidón

Las propiedades dependen de la morfología

- *Gelatinización.* Los gránulos de almidón son insolubles en agua a temperatura ambiente, pero puede absorber agua cuando existe calentamiento del agua al que es sometido, esto se debe a que poseen zonas intermicelares que pueden absorber agua, a medida que se aumenta la temperatura el almidón empieza a aumentar su volumen.

Cuando el almidón alcanza su volumen máximo el gránulo no puede retener más agua y la conformación de la amilosa y amilopectina se ve afectada, pues, se dispersan en la disolución, es decir, la gelatinización es el paso de un estado ordenado a uno desordenado cuando existe la presencia de calor. (Guerrero, 2014: pp 10-13)

- *Desestructuración.* Es la insolubilización y precipitación de las moléculas de amilosa, es decir, la transformación de las estructuras semicristalinas del almidón en una matriz amorfa debido al rompimiento de los puentes de hidrógeno, este fenómeno puede presentarse por el aumento de temperatura al que se encuentra sometido el almidón. (A. García, 2015: pp.16-17)

1.2.5.1. Maíz

El maíz es una de las plantas más cultivadas a nivel mundial por ser una de las plantas más fáciles de domesticar y que ha ido evolucionando conforme al paso de los años, está compuesto por anticianinas, antioxidantes naturales que llaman la atención en el campo médico, por lo que investigadores tratan de aprovechar sus cualidades para crear nuevos productos.(Agama-Acevedo et al., 2005: pp. 419-421)

La cantidad de almidón presente en el maíz oscila del 50 al 70% del peso seco del cereal, y solo en el endospermo se encuentra del 86 al 89% de almidón, estos porcentajes representan una ventaja para la obtención de este polisacárido, sin embargo en la actualidad la FAO y los científicos buscan nuevas alternativas para la obtención de almidón, pues el maíz en los países sudamericanos forman parte esencial de la alimentación y anualmente se utilizan alrededor de 60 millones de toneladas para obtener almidón. (Agama-Acevedo et al., 2005: p. 419)(Calvo 2009)

1.2.5.2. Plátano

Musa paradisíaca L. se originó en Asia hace 650 años atrás, pertenece a la familia de las Musáceas, siendo las más reconocidas la *M.cavendish* y la *M. paradisíaca*, pues son comestibles cuando están crudos y son plátanos que necesitan cocción respectivamente. (Espinosa, 2008: p.18-20)

Es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial y ha sido considerado como un producto básico y de exportación, en las regiones húmedas es el principal cultivo para la alimentación. De acuerdo con FAO (2017), se estimó que en el período 2015-2016 la producción de plátano en Ecuador

fue de 7 millones de toneladas métricas. Según Zhang et al. (2005), esta fruta es una importante fuente de empleo de los países en desarrollo. (Espinosa, 2008: p.21)

El contenido de almidón que se encuentra en esta fruta posee características diferentes al almidón de productos convencionales como la papa, maíz y el arroz, esto se debe a que posee características de digestibilidad y fisicoquímicas únicas, además que los investigadores están enfocados en la estructura del gránulo pues, su capacidad antioxidante podría ser aplicada para la fabricación de productos convencionales. (Hongxia et al. 2017)

El plátano inmaduro, plátano verde, contiene una gran cantidad de almidón que puede ser utilizado potencialmente, tanto en la industria como en productos alimenticios, a medida que la fruta va madurando, el almidón empieza a hidrolizarse en moléculas de glucosa, sin embargo en esta fruta, la hidrólisis es parcial, por lo que se puede encontrar pequeñas cantidades de almidón en el plátano maduro. (Larry & Dominique, 2016: p. 1343)

Importancia del almidón del plátano.

En las regiones cálidas del Caribe y Latinoamérica, se genera gran cantidad de residuos de esta fruta, por lo que la búsqueda para lograr el desarrollo de nuevos materiales a partir de biomateriales beneficiarán para disminuir el deterioro ambiental que el planeta ha sufrido en los últimos años, además de lograr un aprovechamiento de los residuos generados, lo que permitirá reducir costes de producción y generación de trabajo en los diferentes países en desarrollo. (Lambis et al., 2016: p. 63)

1.2.6. Bioplásticos

Los bioplásticos aparecen en el mercado en las últimas décadas, son plásticos fabricados completamente con recursos naturales, aparecen como una solución para reducir el impacto ambiental que se ha generado en la sociedad, pues, los bioplásticos reducen las emisiones atmosféricas porque el CO₂ que estos productos liberan, provienen de la biomasa, por lo que el carbono desprendido regresa a su ciclo de vida natural (Ballesteros 2014), (Thielen, 2014: p.5)

Según ECOEMBES (2009), define a los bioplásticos, como plásticos con certificación de biodegradabilidad, que se originaron por el uso de materias orgánicas, tanto animales y vegetales, que además cumplen con la característica de ser renovables.

Actualmente, los países apuestan al desarrollo sostenible mediante el uso de los bioplásticos, se ha demostrado que con el uso de biomateriales las emisiones de dióxido de carbono se reducen entre 0.8 y 3.2 toneladas comparadas con las emisiones producidas en la producción del plástico convencional, además presenta ventajas que se mencionan en la tabla 2-1. (Castillo et al., 2015: p.35)

Tabla 2-1 Ventajas y desventajas de los bioplásticos

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|
| No poseen sustancias químicas tóxicas para el ambiente | Costo de producción más altos que los convencionales |
| Son reciclables y pueden utilizarse como abonos | Para reciclar no se los debe mezclar con el plástico convencional |
| Se necesita menor consumo energético para su fabricación | No poseen resistencia elevada al calor |
| No altera las propiedades de las comidas cuando son usados como envases | |
| Descomposición más rápida que el plástico convencional | |

Fuente: (Ecoinventos 2016). Bioplásticos. La única alternativa para el futuro

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

1.2.6.1. Clasificación

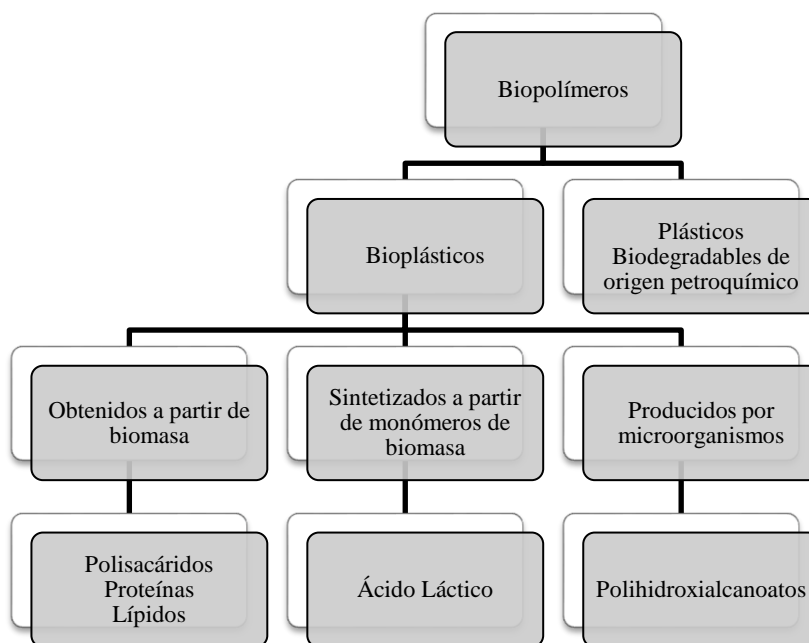


Figura 1-1 Clasificación Biopolímeros

Fuente: (ZEAplast 2012). Tipos de Bioplásticos

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

1.2.7. Biodegradación

La International Standard Organization define a la biodegradación como la transformación de macromoléculas a moléculas más simples por acción de microorganismos, tales como bacterias, hongos, algas y/o protozoos. (Hermida, 2011: p.32)

Es la descomposición de sustratos complejos a moléculas sencillas, agua, dióxido de carbono y moléculas simples, por medio de vías metabólicas usadas por los microorganismos, para que las moléculas obtenidas puedan ser asimiladas de manera más sencilla por el medio ambiente.

El grado de degradación de estos productos puede ser total o parcial, esto depende de las condiciones ambientales a las que se encuentre sometido el bioplástico, se debe considerar, la temperatura, humedad, composición microbiana, sustrato a utilizarse, pH y la cantidad de oxígeno disponible. (GreenPeace, 2009:p.1)

1.2.7.1. Tipos de biodegradación

- *Biodegradación aeróbica.*

Los organismos responsables de este tipo de degradación utilizan el oxígeno del aire para oxidar los compuestos orgánicos, como productos resultantes se producen dióxido de carbono, agua, minerales y biomasa. (GreenPeace, 2009:p.1-2)

- *Biodegradación anaeróbica*

Es la degradación realizada por microorganismos en ausencia total de oxígeno, como resultado se obtienen biogás, minerales y biomasa (GreenPeace, 2009:p.1-2)

1.2.8. Microorganismos

Son organismos que se encuentran en toda la naturaleza, se han reportado algunas algas, bacterias, protozoos y hongos como degradadores de algunos plásticos, siempre y cuando el ambiente brinde las condiciones favorables para que realicen esta acción.

1.2.8.1. Hongos

Son organismos quimiótrofos y heterótrofos, presentan estructuras complejas y son de mayor tamaño que las bacterias. Poseen cromosomas que se encuentran alojados en el núcleo, se caracterizan por reproducirse de manera sexual y asexual mediante estructuras específicas como las esporas y conidios. (García-Morato & Sánchez, 2011: p.1) (Caballero & Cruz, 2007: p.1)

Los hongos pertenecen al Reino *Eukarya*, en la antigüedad se creía que estos organismos pertenecían al reino *Plantae*, pues las células vegetales y la de los hongos comparten algunas semejanzas, pero la composición en la pared celular y la ausencia de cloroplastos y clorofila, son marcadas diferencias que permiten que los hongos se encuentren en un reino diferente al vegetal. (Aristegui, 2002: pp.1-4)

La producción de polisacáridos permite que los hongos puedan colonizar materiales de una manera rápida y eficiente, algunos hongos excretan proteínas que forman puentes de hidrógeno y permiten ligarse a las superficies de materiales plásticos para su posterior descomposición.

Los hongos presentan una característica importante, pueden vivir con bajas cantidades de nutrientes presentes en el medio y a temperatura ambiente, además la distribución de las hifas y su capacidad de penetración hacen que estos organismos cumplan un rol fundamental en el reciclaje del carbono. (Acuña, 2017: p.21)

Por las características mencionadas, el crecimiento de hongos en el laboratorio resulta sencillo, pues son organismos que crecen en la mayoría de medios de cultivo que contengan fuente de carbono y nitrógeno, la mayoría de hongos son aerobios, crecen en ambientes con temperaturas que oscilan entre 10°C y 40°C y en medios con pH que varía desde 2 a 9, es decir, son organismos poco exigentes. (Aristegui, 2002: p.4)

La importancia de estos organismos en el medio ambiente radica en la función degradadora de materia orgánica, es decir, transforman restos de alimentos, animales y plantas, en sales minerales y gases que al ser devueltos a la naturaleza, pueden ser utilizados por los seres autótrofos como fuente de alimento y energía. (Caballero & Cruz, 2007: p.1)

Estos organismos pueden presentar diferentes morfologías.

- Filamentosa.
- Levaduriforme

1.2.8.2. Hongos Filamentosos

Son hongos conocidos también como mohos, son microorganismos aerobios facultativos, que se reproducen por esporas de manera sexual o asexualmente, su pared celular está compuesta por un polisacárido rígido, quitina. Estos organismos deben absorber la comida para alimentarse debido a que no pueden fagocitar los alimentos como lo hacen las bacterias. (Arias & Piñeros, 2008: pp.14-16)

En su estructura poseen un micelio que está formado por hifas, éstas pueden producir células reproductoras móviles, tanto sexuales como asexuales dependiendo de la diferenciación que exista en las hifas de crecimiento. Las esporas, son cuerpos resistentes que se forman durante la fase de latencia del hongo. (Arias & Piñeros, 2008: p.14)

Los hongos filamentosos pueden vivir en condiciones extremas, pueden crecer en medios con altas concentraciones de azúcares, pues no son sensibles a la presión osmótica que se puede ejercer y pueden resistir condiciones altas de acidez. (Arias & Piñeros, 2008: p.15)

1.2.8.3. *Aspergillus niger*

Es un hongo perteneciente al phylum *Ascomycota*, ubicuo en el ambiente y es considerado como patógeno oportunista para los seres humanos, sin embargo es mundialmente utilizado como un organismo fermentador, puede producir ácido cítrico de una manera eficiente, lo que implica reducción de costos en la industria. (Baker, 2006)

Es un organismo que se encuentra comúnmente en los suelos agrícolas, cumple un rol fundamental en el ciclo del carbono, además posee una amplia gama de enzimas hidrolíticas y oxidativas que ayudan en la degradación de la lignocelulosa. (Baker, 2006)

Aspergillus niger, tiene apariencia filamentosa, se lo puede encontrar creciendo en algunos vegetales, en la etapa de adaptación son de color blanco, pero al llegar a la fase estacionaria se vuelven de color verde negruzco, el tiempo de crecimiento de este hongo es de 72 horas. (Múnera, 2014: pp.1-5)

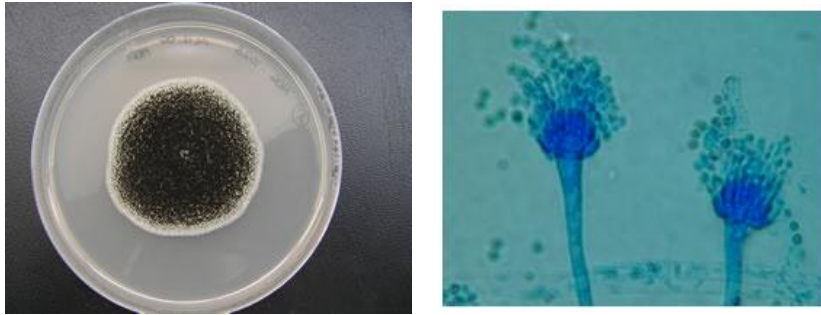


Figura 2-1 Características morfológicas *Aspergillus*

Fuente: Pitt 1998, citado por Arias & Piñeros, 2008

1.2.8.4. *Penicillium spp.*

Son mohos comunes que se puede encontrar en productos gramíneos, frutas, leche y suelos, su importancia radica en la producción de toxinas que pueden causar el deterioro de los compuestos orgánicos en los que crecen, por lo que atraen la atención para ser estudiados (Narváez, 2016: p.61)

Es un hongo ubicuo de crecimiento rápido, las colonias son de color blanco algodonoso en la etapa inicial, tornándose de color dependiendo de la especie, en estado de maduración tienen un aspecto polvoriento debido a la presencia excesiva de esporas. Su principal característica es la presencia de hifas delgadas y septadas en el micelio. (Arias & Piñeros, 2008:p.14)

Se caracteriza principalmente porque es el hongo productor de penicilina además de roquefortina y meleagrina, sus conidios se disponen en forma de pincel, crecen en temperaturas comprendidas entre 23°C y 37°C, se encuentra en el polvo doméstico y más comúnmente en edificios húmedos causando deterioro en los lugares húmedos. (Thom, 2002)

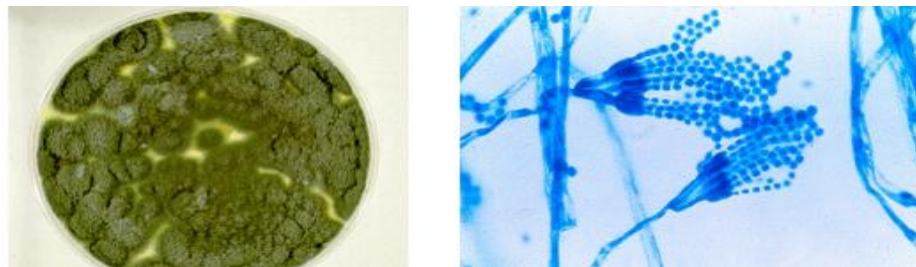


Figura 3-1 Características morfológicas *Penicillium spp.*

Fuente: Pitt 1998, citado por Arias & Piñeros, 2008 }

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología de la investigación

2.1.1. Lugar de la investigación

Laboratorio de Microbiología, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

2.1.2. Hipótesis y especificación de las variables

Hipótesis general

La cepa microbiana *Aspergillus niger* degrada en mayor porcentaje que *Penicillium spp* el bioplástico elaborado a partir de almidón de plátano.

Variables

- **Variable independiente**
Degradación de bioplástico elaborado a partir del almidón de cáscara de plátano.
- **Variable dependiente**
Porcentaje de degradación del bioplástico.
Aspergillus niger y *Penicillium spp*.
- **Variables Intervinientes**
Prueba de Yodo, pH, Peso.

2.1.3. Tipo y diseño de la investigación

Investigación experimental

Se implantó un ensayo experimental, para poder cumplir con el propósito, a fin de determinar la relación entre las variables establecidas.

Investigación Documentada

Para la presente investigación se analizó la información escrita relacionada al efecto de degradación del *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* en almidones y en las problemáticas de los plásticos a nivel ambiental, técnicas de siembra de microorganismos, alternativas de degradación de bioplástico mediante documentos técnicos investigativos con la ayuda de información secundaria que consta en libros, revistas científicas, tesis de grado y documentos en general, que permitirá establecer diferencias del estado actual, respecto al problema de estudio.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue de tipo experimental aleatoria simple, se tomó al alzar las cajas para la siembra de las diferentes cepas, se controló el crecimiento y la degradación del bioplástico elaborado a base de cáscara de plátano a partir de las 2 cepas en estudio, en condiciones de óptimo crecimiento.

2.1.4. Población de estudio

Bioplástico elaborado a partir de cáscara de plátano.

2.1.5. Tamaño de la muestra

22 unidades experimentales divididas de la siguiente manera: 10 cajas Petri con Agar Sabouraud + *Aspergillus niger* + Bioplástico y 10 cajas Petri con Agar Sabouraud + *Penicillium spp* + Bioplástico, y una caja de cada microorganismo sin bioplástico para ser la unidad de control. La cantidad de Bioplástico que se agregó a cada unidad experimental fue de aproximadamente 1 gramo.

2.1.6. Selección de la muestra

Las cepas en estudio fueron obtenidas de los laboratorios de la ESPOCH y el bioplástico fue elaborado a partir del almidón de la cáscara de Plátano.

2.1.7. Técnicas de Recolección de Datos

Se utilizaron algunos métodos y técnicas experimentales para poder observar la degradación del bioplástico elaborado.

Técnica experimental

Los datos iniciales y finales del bioplástico se recogieron en 3 etapas, al inicio, a los 30 días y 60 días del experimento:

Elaborado el bioplástico a partir del almidón de la cáscara del plátano, transcurrido 72 horas en la estufa para eliminar la mayor humedad posible y que así tome consistencia, se midió el pH, se realizó la prueba de yodo para comprobar que este tenga almidón en su composición y se pesó, se obtuvo 20 muestras de bioplástico para las diferentes unidades experimentales.

Transcurridos 30 y 60 días de haber colocado el bioplástico en las unidades experimentales se procedió a retirar y esterilizar, se colocó 72 horas en la estufa para eliminar la mayor humedad posible y se volvió a medir el pH de cada bioplástico, se realizó la prueba de yodo y se pesó cada uno de ellos para observar la degradación que se obtuvo.

Técnica de observación

La técnica que se utilizó durante la fase de investigación fue de observación directa en el laboratorio.

En los 30 y 60 días que duró la fase experimental, se observó cada 3 días el crecimiento de los hongos con el bioplástico y la unidad de control en la incubadora, se fotografió para evidenciar y observar el crecimiento.

Se observó cada 3 días como el hongo se adhirió al bioplástico que se lo sembró esterilizado y empezó a obtener su fuente de carbono y energía de éste, al transcurrir el tiempo de la investigación el hongo invadió todo el Bioplástico.

2.2. Procedimientos realizados en el estudio

2.2.1. *Proceso metodológico de Almidón de Plátano*

Elaboración de Almidón de Plátano

Lavar los plátanos con abundante agua para eliminar cualquier impureza que contengan. Extraer el jugo de las naranjas agrias para realizar una solución antipardecimiento que ayuda a prevenir la oxidación enzimática del almidón. Se realizan cortes verticales a lo largo de la fruta, para desprender la cáscara del plátano. Al tener la cáscara se hace la inmersión inmediata en la solución antipardecimiento. Se rayan las cáscaras (el endocarpio) para extraer lo que queda del plátano en tiras, que es de donde se obtendrá posteriormente el almidón. A medida que se obtienen las tiras de almidón de las cáscaras, se van colocando en parrillas con calor, para ser deshidratadas. Se coloca en la estufa y se dejan ahí hasta que estas se deshidraten totalmente. Una vez deshidratadas, las tiras se muelen, para obtener una especie de polvillo y se tamiza para obtener una granulometría homogénea. Al final se coloca unas gotas de lugol para constatar la presencia de almidón.

2.2.2. *Proceso metodológico del Bioplástico.*

Elaboración de Bioplástico

En un vaso de precipitación colocar 6 ml de ácido acético, 4 ml de glicerina, 12 ml de agua destilada. Mezclar bien estos componentes y agregar 5 gr de almidón de plátano. Esta solución homogenizar bien por 3 minutos con una barrilla hasta que no existan grumos. Llevar a un reverbero a intensidad media hasta que este entre en punto de ebullición y controlar que no se formen grumos ni se quemé el bioplástico. Verter la mezcla en las Cajas Petri y repartir uniformemente.

Al terminar este proceso, para su secado llevar la Caja Petri con la mezcla a la estufa por aproximadamente 72 horas. Pesar la cantidad de bioplástico obtenido. Realizar la prueba de Yodo para verificar la presencia de almidón. Medir el pH del Bioplástico.

2.2.3. *Proceso metodológico de siembra *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* con el bioplástico elaborado.*

Metodología:

Obtener las cepas *Aspergillus niger* y *Penicillium spp*. Preparar en Cajas Petri el medio Agar Sabouraud para el óptimo crecimiento de las cepas. Sembrar en la cámara de flujo laminar cada cepa en el medio ya preparado, de cada siembra realizar diez repeticiones. Realizar una unidad de control para cada cepa microbiana. Llevar a la incubadora a temperatura de 28 °C hasta que las cepas lleguen a la fase estacionaria y poder proceder a sembrar el bioplástico. Llevar las cajas a la cámara de flujo laminar y colocar aproximadamente 1 gramo de bioplástico elaborado a base de cáscara de plátano en cada unidad experimental y realizar una unidad de control de cada cepa sin bioplástico. Llevar a la incubadora las unidades experimentales a la temperatura inicial y observar el crecimiento de las cepas en estudio obteniendo su fuente de carbono y energía del bioplástico sembrado previamente.

A los 30 y 60 días de la investigación, llevar a la cámara de flujo las cajas correspondientes y retirar cuidadosamente el bioplástico sembrado de las unidades experimentales. Cada uno de los bioplásticos llevarlos al autoclave para su esterilización y luego a la estufa por 72 horas, para que si existe humedad esta se elimine. Realizar la prueba de yodo, medir el pH y pesar los bioplásticos de las diferentes unidades experimentales y realizar una comparación.

2.2.4. *Medición de pH*

Se toma una pequeña porción del bioplástico que fue elaborado y se lo diluye en agua destilada agitando constantemente por 5 minutos y se lo lleva al pHmetro para medir el pH inicial.

Los bioplástico de las diferentes unidades experimentales al finalizar el experimento, al haber pasado por el autoclave para su esterilización y por la estufa, se las tritura en un mortero y se diluye en agua destilada, se agita por 5 minutos de manera constante para que la solución sea homogénea y se mide el pH con el pHmetro. Se compara los valores iniciales con los finales y se observa la variación existente en cada unidad experimental.

2.2.5. Prueba de Yodo

Se toma una pequeña porción del bioplástico elaborado ya seco, se le coloca una gota de tinte de Yodo y esperamos 5 minutos. Al transcurrir este tiempo se observa si el bioplástico se torna de color negro indica la existencia de almidón pero si este se no cambia de color este no existe.

Se toma una pequeña muestra del bioplástico de las diferentes unidades experimentales que ya ha pasado por el autoclave y por la estufa, se coloca una gota de Yodo para observar si existe o no almidón en su composición. Se compara los valores iniciales con los finales y se observa la variación existente en cada unidad experimental.

2.2.6. Pruebas Gravimétricas

Al bioplástico elaborado se lo divide en 20 partes y se lo lleva a la balanza analítica, se pesa y cada parte tenga un peso aproximado de 1 gramo para que este pueda ser sembrado dentro de las cajas con las diferentes cepas.

Los bioplástico de las diferentes unidades experimentales ya al haber pasado por el autoclave y por la estufa, se lo coloca uno por uno en la balanza analítica y se toma el peso. Se compara los valores iniciales con los finales y se observa la variación existente en cada unidad experimental.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de resultados

En este capítulo se va a analizar los datos y resultados obtenidos en la investigación, según la metodología obtenida y los tiempos establecidos para el crecimiento de cada cepa, para realizar los análisis respectivos de cada prueba realizada.

3.2. Resultados de degradación del bioplástico con *Penicillium spp*

Los resultados obtenidos de la degradación del bioplástico con la cepa *Penicillium spp* en las pruebas gravimétricas, pH, porcentaje de degradación, prueba de lugol a los 30 y 60 días.

Tabla 1-3 Resultados de la degradación del bioplástico con *Penicillium spp* obtenidos a los 30 días.

| U. Exp | Peso inicial | Peso Final | Degradación | % Degradación | Prueba lugol inicial | Prueba lugol final | pH Inicial | pH Final |
|--------|--------------|------------|-------------|---------------|----------------------|--------------------|------------|----------|
| 1 | 1,2058 | 1,1620 | 0,0438 | 4,38 | si | si | 5,68 | 4,90 |
| 2 | 1,1992 | 1,1510 | 0,0482 | 4,82 | si | si | 5,68 | 4,76 |
| 3 | 1,2145 | 1,1533 | 0,0612 | 6,12 | si | si | 5,68 | 4,14 |
| 4 | 1,2049 | 1,1632 | 0,0417 | 4,17 | si | si | 5,68 | 4,78 |
| 5 | 1,1868 | 1,1342 | 0,0526 | 5,26 | si | si | 5,68 | 4,49 |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

3.2.1. Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 30 días

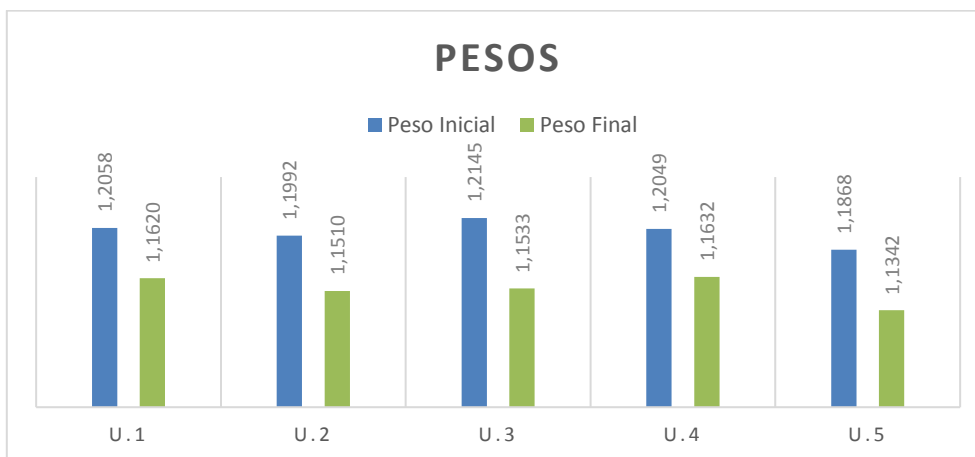


Gráfico 1-3 Pruebas Gravimétricas del bioplástico con *Penicillium spp* a los 30 días

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 1-3 se representa los pesos tomados en el bioplástico al inicio y a los 30 días, donde la unidad experimental número 3 presenta una mayor degradación en el tiempo transcurrido, con una diferencia de peso de 0,0612 gramos; la unidad experimental número 4 obtuvo la degradación más baja con una diferencia de 0,0417 gramos. Todas las unidades experimentales fueron incubadas a una temperatura de 28 grados Celsius. La primera semana se observó que el hongo empezó a invadir el bioplástico y cada 3 días se controló su crecimiento hasta llegar al tiempo previsto.

3.2.2. Porcentaje de degradación del bioplástico a los 30 días

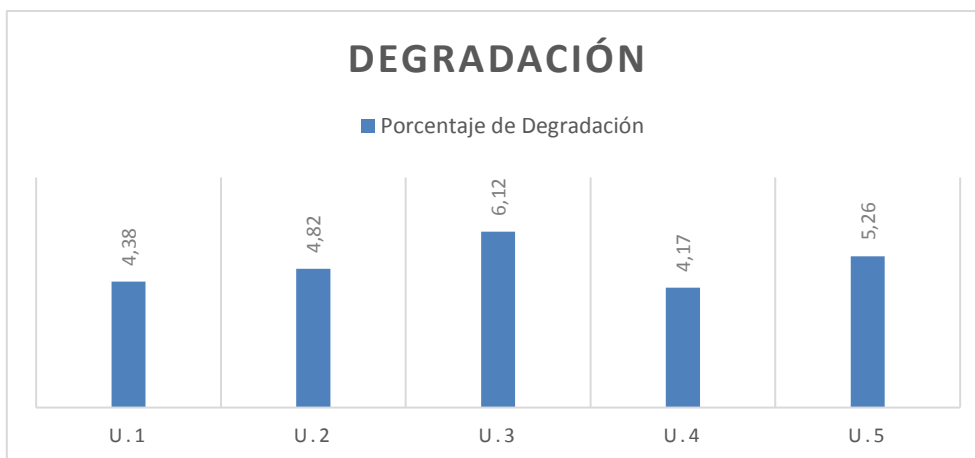


Gráfico 2-3 Porcentaje de degradación del bioplástico con *Penicillium spp* a los 30 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 2-3 se representa los porcentajes de degradación a los 30 días, teniendo una mayor degradación en la unidad experimental número 3 con 6,12% y la unidad experimental número 4 presenta la menor degradación con 4,17%. El resto de las unidades experimentales oscilan en valores parecidos en el intervalo dado.

3.2.3. Prueba de pH del bioplástico a los 30 días

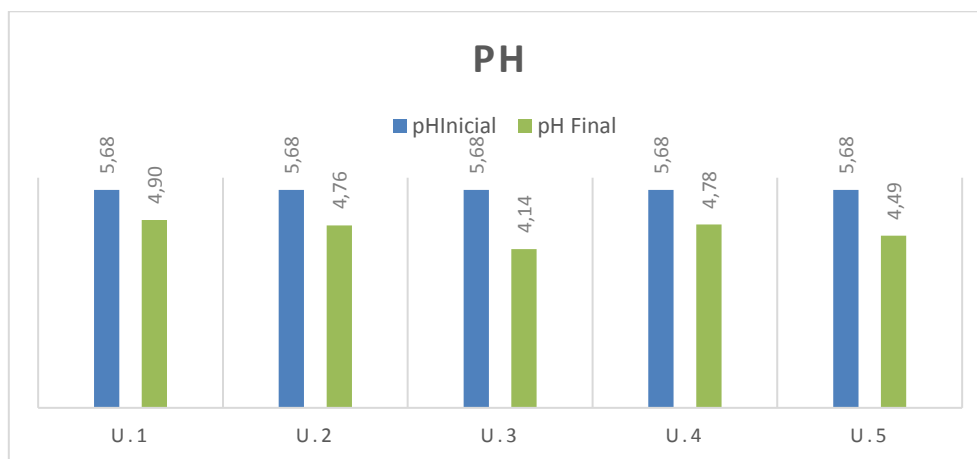


Gráfico 3-3 Resultados de pH del bioplástico con *Penicillium spp* a los 30 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 3-3 se presenta la variación de pH existente a los 30 días de la fase experimental, teniendo como pH final más bajo la unidad experimental número 3 con 4,14, ya que obtuvo la mayor degradación en el tiempo establecido. El más alto se registró en la unidad experimental número 1 con un pH de 4,90.

3.2.4. Prueba de lugol del bioplástico a los 30 días

En la tabla 2-3 se muestra los resultados obtenidos a los 30 días, dando positivo en todas las unidades experimentales, esto nos indica que aún existe almidón en la composición del bioplástico.

Tabla 2-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con *Penicillium spp* a los 30 días.

| Unidad Experimental | Prueba de lugol inicial | Prueba de lugol a los 30 días |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | Si | Si |
| 2 | Si | Si |
| 3 | Si | Si |
| 4 | Si | Si |
| 5 | Si | Si |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En la siguiente tabla se muestra los resultados que se obtuvieron a los 60 días de la fase experimental con la cepa *Penicillium spp* incubadas a 28 grados Celsius.

Tabla 3-3 Resultados de la degradación del bioplástico con *Penicillium spp* obtenidos a los 60 días.

| U. Exp | Peso inicial | Peso Final | Degradación | % Degradación | Prueba lugol inicial | Prueba lugol final | pH Inicial | pH Final |
|--------|--------------|------------|-------------|---------------|----------------------|--------------------|------------|----------|
| 6 | 1,0001 | 0,9421 | 0,0580 | 5,80 | si | si | 5,68 | 4,71 |
| 7 | 1,2012 | 1,1485 | 0,0527 | 5,27 | si | si | 5,68 | 4,48 |
| 8 | 1,1591 | 1,0769 | 0,0822 | 8,22 | si | si | 5,68 | 3,47 |
| 9 | 1,3076 | 1,2542 | 0,0534 | 5,34 | si | si | 5,68 | 4,92 |
| 10 | 1,1801 | 1,1175 | 0,0626 | 6,26 | si | si | 5,68 | 4,03 |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

3.2.5. Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 60 días

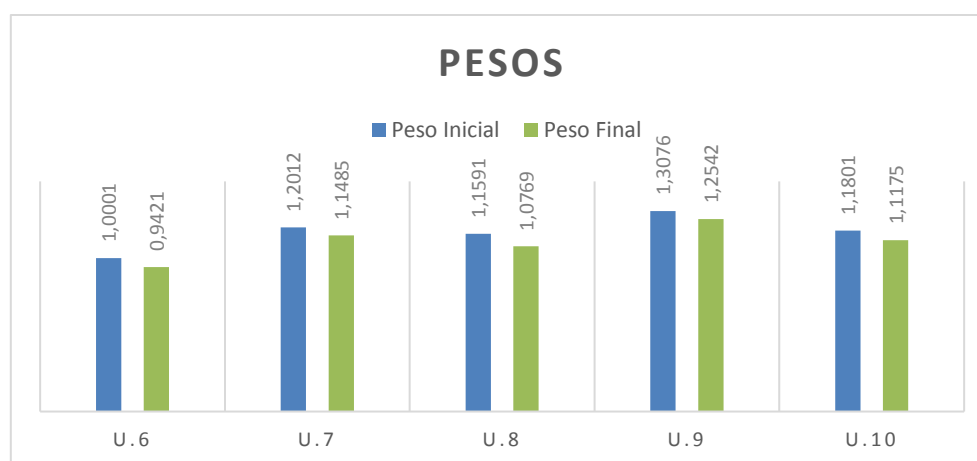


Gráfico 4-3 Pruebas Gravimétricas del bioplástico con *Penicillium spp* a los 60 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 4-3 se representa los pesos tomados en el bioplástico al inicio y a los 60 días, donde la unidad experimental número 8 presenta una mayor degradación en el tiempo transcurrido con una diferencia de peso de 0,0822 gramos; la unidad experimental número 7 obtuvo la degradación más baja con una diferencia de 0,0520 gramos. Todas las unidades experimentales fueron incubadas a una temperatura de 28 grados Celsius. La primera semana se observó que el hongo empezó a invadir el bioplástico y cada 3 días se controló su crecimiento hasta llegar al final de la investigación.

3.2.6. Porcentaje de degradación del bioplástico a los 60 días

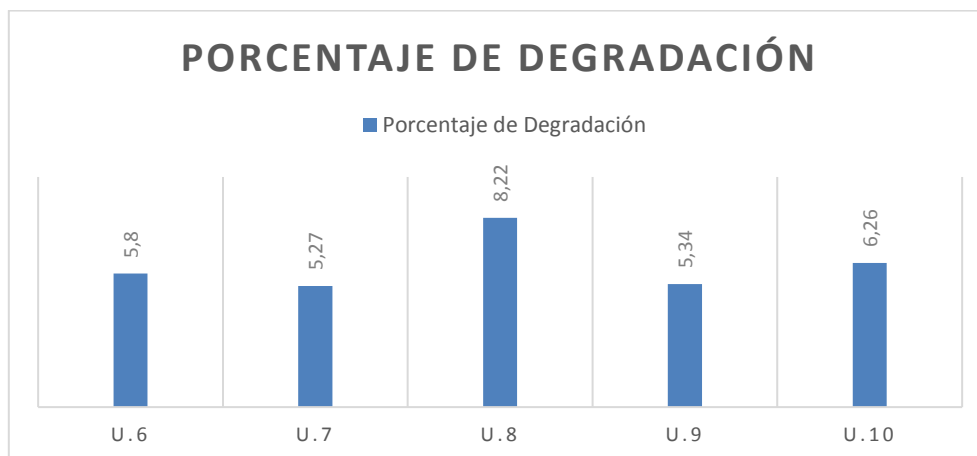


Gráfico 5-3 Porcentaje de degradación del bioplástico con *Penicillium spp* a los 60 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 5-3 se representa los porcentajes de degradación a los 60 días, teniendo la mayor degradación en la unidad experimental número 8 con 8,22% y la unidad experimental número 7 presenta la menor degradación con 5,27%. El resto de las unidades experimentales oscilan en valores similares.

3.2.7. Variación de pH del bioplástico a los 60 días.

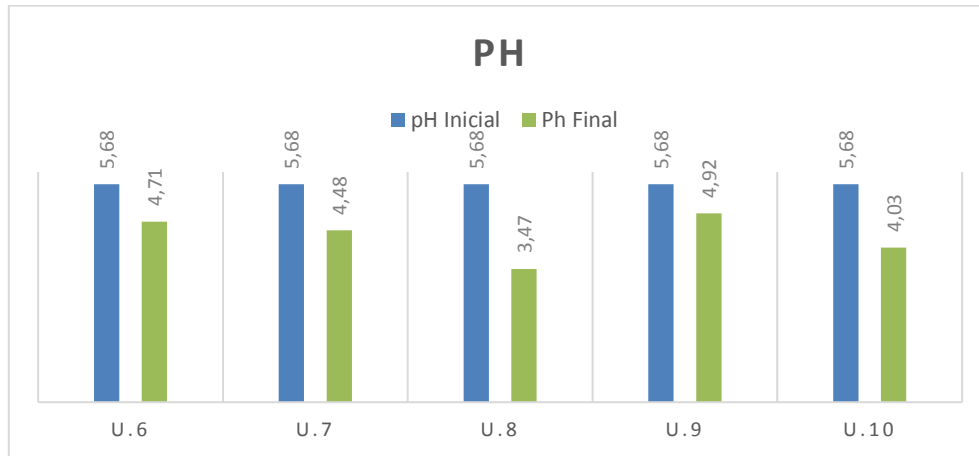


Gráfico 6-3 Resultados de pH del bioplástico con *Penicillium spp* a los 60 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 6-3 se presenta la variación de pH a los 60 días de la fase experimental, teniendo como pH final más bajo la unidad experimental número 8 con 3,47, ya que obtuvo la mayor degradación en el tiempo establecido. El más alto se registró en la unidad experimental número 9 con un pH de 4,92.

3.2.8. Prueba de lugol del bioplástico a los 60 días.

En la tabla 4-3 se muestran los resultados obtenidos a los 60 días de la fase experimental, dando positivo en todas las unidades experimentales. Esto nos indica que aún existe almidón en la composición del bioplástico.

Tabla 4-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con *Penicillium spp* a los 60 días.

| Unidad Experimental | Prueba de lugol inicial | Prueba de lugol a los 60 días |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 6 | Si | Si |
| 7 | Si | Si |
| 8 | Si | Si |
| 9 | Si | Si |
| 10 | Si | Si |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

3.3. Resultados de la degradación con *Aspergillus niger*.

Los resultados obtenidos con la cepa *Aspergillus niger* en las pruebas gravimétricas, pH, porcentaje de degradación, prueba de lugol a los 30 y 60 días.

Tabla 5-3 Resultados de la degradación del bioplástico con *Aspergillus niger* obtenidos a los 30 días

| U. Exp | Peso inicial | Peso Final | Degradación | % Degradación | Prueba lugol inicial | Prueba lugol final | pH Inicial | pH Final |
|--------|--------------|------------|-------------|---------------|----------------------|--------------------|------------|----------|
| 1 | 1,2330 | 1,0871 | 0,1459 | 14,59 | si | si | 5,68 | 4,05 |
| 2 | 1,1981 | 1,0668 | 0,1313 | 13,13 | si | si | 5,68 | 4,08 |
| 3 | 1,2170 | 1,1059 | 0,1111 | 11,11 | si | si | 5,68 | 4,12 |
| 4 | 1,2078 | 1,0796 | 0,1282 | 12,82 | si | si | 5,68 | 4,10 |
| 5 | 1,2197 | 1,0961 | 0,1236 | 12,36 | si | si | 5,68 | 4,14 |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

3.3.1. Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 30 días.

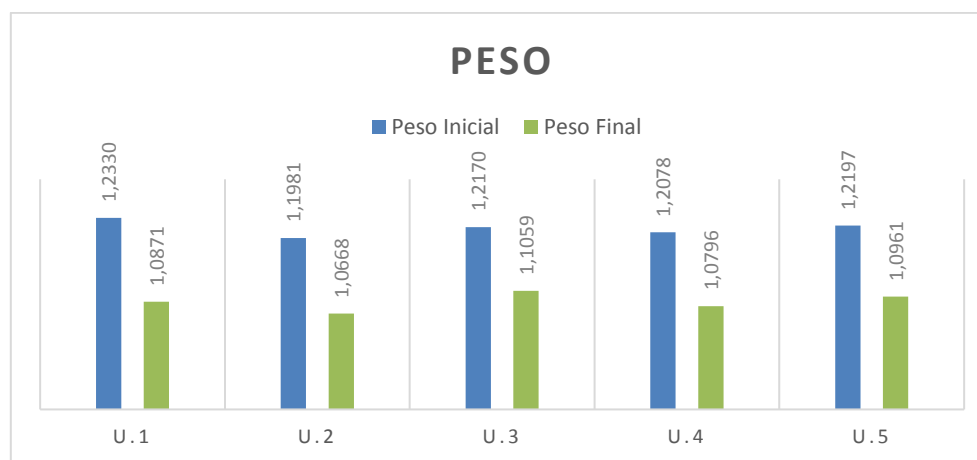


Gráfico 7-3 Pruebas Gravimétricas del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 30 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 7-3 se representa los pesos tomados en el bioplástico al inicio y a los 30 días, donde la unidad experimental número 1 presenta una mayor degradación en el tiempo transcurrido, con una diferencia de peso de 0,1459 gramos; la unidad experimental número 3 obtuvo la degradación más baja con una diferencia de 0,1111 gramos. Todas las unidades experimentales fueron incubadas a una temperatura de 28 grados Celsius, a la primera semana se observó que el hongo empezó a invadir el bioplástico y cada 3 días se controló su crecimiento hasta llegar al tiempo previsto.

3.3.2. Porcentaje de degradación del bioplástico a los 30 días

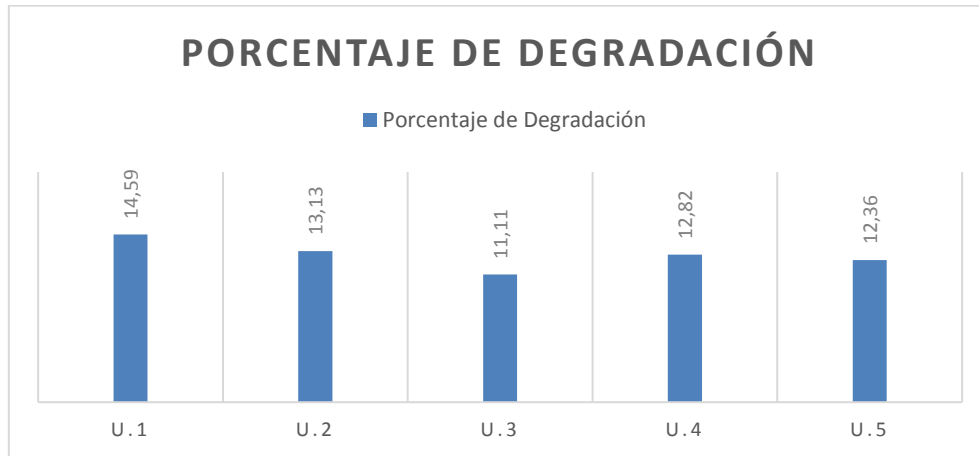


Gráfico 8-3 Porcentaje de degradación del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 30 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 8-3 se representan los porcentajes de degradación a los 30 días, teniendo la mayor degradación en la unidad experimental número 1 con 14,59% y la unidad experimental número 3 presenta la menor degradación con 11,11%. El resto de las unidades experimentales oscilan en valores similares.

3.3.3. Prueba de pH del bioplástico a los 30 días

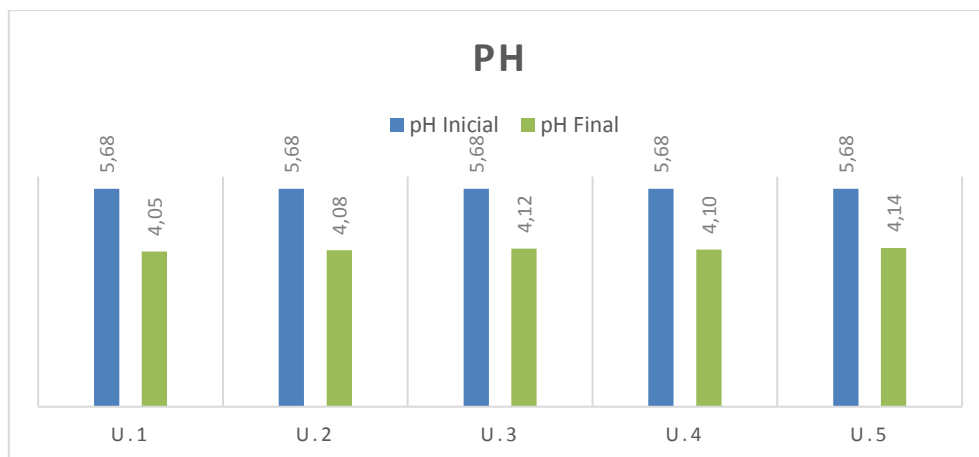


Gráfico 9-3 Resultados de pH del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 30 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 9-3 se presenta la variación de pH a los 30 días de la fase experimental, teniendo como pH final más bajo la unidad experimental número 1 con 4,05, ya que obtuvo la mayor degradación en el tiempo establecido. El más alto se registró en la unidad experimental número 5 con un pH de 4,14.

3.3.1. Prueba de lugol del bioplástico a los 30 días

En la tabla 6-3 se muestran los resultados obtenidos a los 30 días de la fase experimental, dando positivo en todas las unidades experimentales, lo que nos indica que aún existe almidón en la composición del bioplástico.

Tabla 6-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 30 días

| Unidad Experimental | Prueba de lugol inicial | Prueba de lugol a los 30 días |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | Si | Si |
| 2 | Si | Si |
| 3 | Si | Si |
| 4 | Si | Si |
| 5 | Si | Si |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En la siguiente tabla se muestran los resultados que se obtuvieron a los 60 días de la fase experimental con la cepa *Aspergillus niger* incubadas a 28 grados Celsius.

Tabla 7-3 Resultados de la degradación del bioplástico con *Aspergillus niger* obtenidos a los 60 días.

| U. Exp | Peso inicial | Peso Final | Degradación | % Degradación | Prueba lugol inicial | Prueba lugol final | pH Inicial | pH Final |
|--------|--------------|------------|-------------|---------------|----------------------|--------------------|------------|----------|
| 6 | 1,2085 | 1,0354 | 0,1731 | 17,31 | si | si | 5,68 | 3,60 |
| 7 | 1,2271 | 1,0447 | 0,1824 | 18,24 | si | si | 5,68 | 3,79 |
| 8 | 1,2308 | 1,0302 | 0,2006 | 20,06 | si | si | 5,68 | 3,41 |
| 9 | 1,2292 | 1,0781 | 0,1511 | 15,11 | si | si | 5,68 | 4,04 |
| 10 | 1,2071 | 1,0192 | 0,1879 | 18,79 | si | si | 5,68 | 3,46 |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

3.3.2. Pruebas gravimétricas del bioplástico a los 60 días

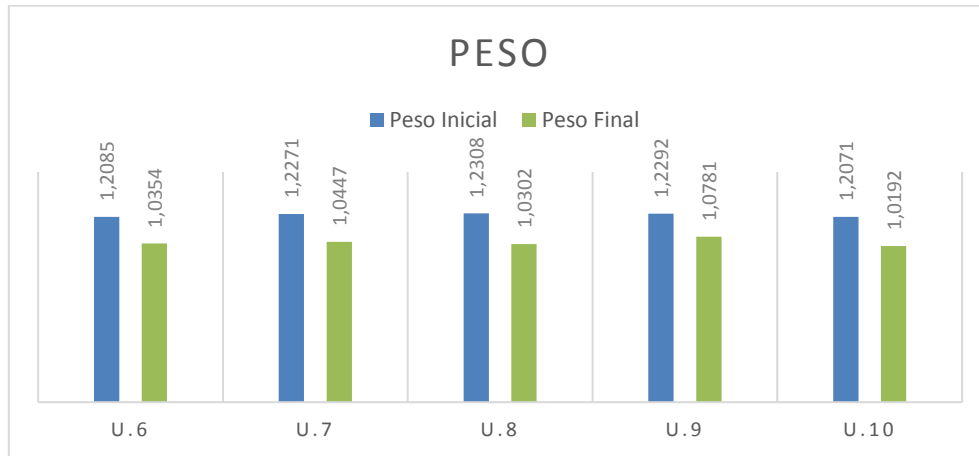


Gráfico 10-3 Pruebas Gravimétricas del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 60 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 10-3 se representa los pesos tomados en el bioplástico al inicio y a los 60 días, donde la unidad experimental número 8 presenta una mayor degradación en el tiempo transcurrido con una diferencia de peso de 0,2006 gramos; la unidad experimental número 9 obtuvo la degradación más baja con una diferencia de 0,1511 gramos. Todas las unidades experimentales fueron incubadas a una temperatura de 28 grados Celsius, a la primera semana se observó que el hongo empezó a invadir el bioplástico y cada 3 días se controló su crecimiento hasta llegar al final de la investigación.

3.3.3. Porcentaje de degradación del bioplástico a los 60 días

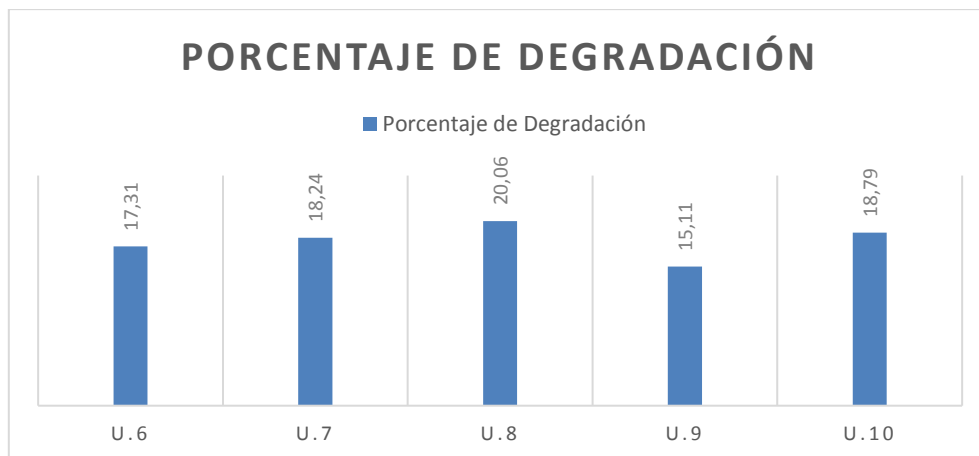


Gráfico 11-3 Porcentaje de degradación del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 60 días.

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 11-3 se representan los porcentajes de degradación a los 60 días, teniendo la mayor degradación en la unidad experimental número 8 con 20,06% y la unidad experimental número 9 presenta la menor degradación con 15,11%. El resto de las unidades experimentales oscilan en valores similares.

3.3.4. Variación de pH a los 60 días

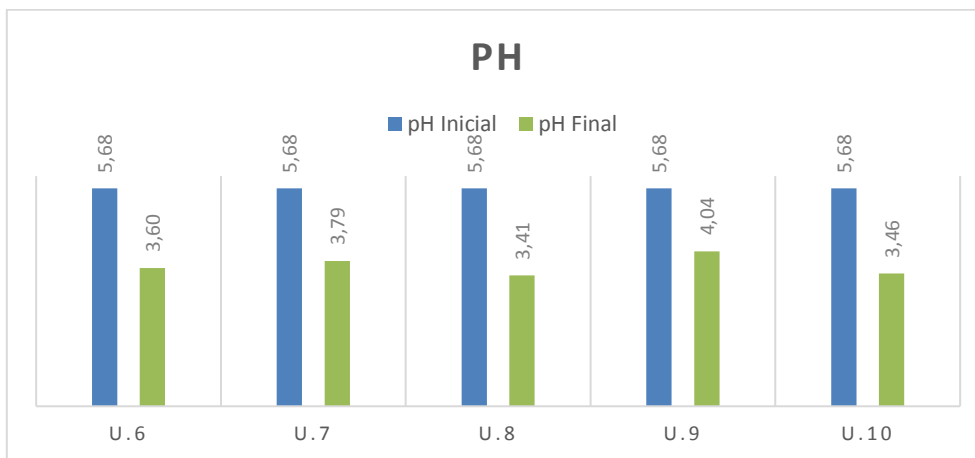


Gráfico 12-3 Resultados de pH del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 60 días

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

En el Gráfico 12-3 se presenta la variación de pH a los 60 días de la fase experimental, teniendo como pH final más bajo la unidad experimental número 8 con 3,41, ya que obtuvo la mayor degradación en el tiempo establecido. El más alto se registró en la unidad experimental número 9 con un pH de 4,04.

3.3.5. Prueba de lugol del bioplástico a los 60 días

En la tabla 8-3 se muestran los resultados obtenidos a los 60 días de la fase experimental, dando positivo en todas las unidades experimentales, lo que nos indica que aún existe almidón en la composición del bioplástico.

Tabla 8-3 Resultados de la prueba de Lugol del bioplástico con *Aspergillus niger* a los 60 días.

| Unidad Experimental | Prueba de lugol inicial | Prueba de lugol a los 60 días |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 6 | Si | Si |
| 7 | Si | Si |
| 8 | Si | Si |
| 9 | Si | Si |
| 10 | Si | Si |

Realizado por: Marisol Erazo, 2018

3.4. DISCUSIÓN

En la investigación realizada se observó que la cepa con mayor degradación en el bioplástico elaborado a partir de cáscara de plátano fue *Aspergillus niger*, con 20% de degradación y un pH final de 3,41 a los 60 días del experimento, al ser este microorganismo propio de la putrefacción y estar ampliamente distribuido por la naturaleza es de fácil acceso y puede degradar fácilmente el bioplástico. Al comparar con los resultados de otra investigación se pudo determinar que *Aspergillus niger* tiene una gran capacidad degradativa con bioplásticos hechos a base de almidón y también de polietileno de alta densidad (PEAD), teniendo como resultados un porcentaje de degradación en los diferentes ensayos para *A. niger* de 10,25%, 13,83% y 19,56%, (Barrera et al. 2013), estos porcentajes dados son valores similares de la investigación realizada. Por otro lado tenemos que al comparar la composición del bioplástico elaborado con otra investigación realizada, donde *Aspergillus niger* degrada con mayor facilidad un sustrato sólido elaborado con glucosa y glicerol (Reyes-Ocampo, González-Brambila y López-Isunza, 2013), concuerda con la composición del bioplástico a base de almidón de plátano, el glicerol tiene una asimilación parecida a la de la glucosa y por eso no necesita una gran cantidad de ATP para su descomposición. Por esta razón en los resultados obtenidos en la fase experimental con este hongo fueron favorables y obtuvo el mayor porcentaje de degradación en la investigación realizada.

CONCLUSIONES

- Se elaboró un bioplástico a partir del almidón de la cáscara de plátano, con propiedades adecuadas, con una buena dureza y elasticidad moderada, su pH inicial fue de 5,68.
- Se determinó que existió degradación con las dos cepas en estudio; se obtuvo mayor degradación en el bioplástico con *Aspergillus niger* a los 60 días, en la unidad experimental número 8 con una variación de peso de 0,2006 mg y un pH final de 3,41. Mientras que con *Penicillium spp* se obtuvo una variación de peso de 0,0822 mg y un pH final de 3,47 en la unidad experimental número 8. A través de la prueba de lugol se determinó que las diferentes unidades experimentales aún tienen la presencia de almidón en su composición, habiendo transcurrido el tiempo de la fase experimental.
- Se obtuvo como mejor cepa microbiana degradativa a *Aspergillus niger* con un 20% frente a *Penicillium spp* con la que se obtuvo un 8% de degradación. Observando directamente en el laboratorio, el bioplástico fue invadido totalmente por *Aspergillus niger*, su estructura fue modificada al perder su dureza y tener una cierta viscosidad en la fase experimental, confirmando esto en los resultados de las diferentes pruebas realizadas. Las dos cepas tienen una capacidad degradativa alta en comparación a otras cepas utilizadas en otros estudios.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar diferentes concentraciones de almidón de cáscara de plátano en el bioplástico para comparar la degradación.
- En las pruebas de laboratorio hay que considerar estrictamente las condiciones de esterilización y temperatura de incubación de los microorganismos

BIBLIOGRAFIA

1. **Acuña, N.**, "Revisión bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad y sus efectos en el material". 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5608/1/AcuñaMolinaNelsonRicardo2017.pdf>.
2. **Agama-Acevedo, E., et al.**, "Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *ResearchGate* [en línea], 2005, pp. 419–429. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/28088170_Aislamiento_y_caracterizacion_del_almidon_de_maices_pigmentados.
3. **Arias, E. y Piñeros, P.** "Aislamiento e identificación de hongos filamentos de muestras de suelo de los páramos de Guasca y Cruz Verde". S.l.: Universidad Javeriana. Colombia, 2008. Disponible en: <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis226.pdf>.
4. **Aristegui, B.** "El reino de los hongo". *Revista Iberoamericana de Micología*, (2008), pp. 1–4. ISSN 00275514. DOI 10.2307/3759948.
5. **Armendáriz I., Landazuri P.A., Taco JM, U.S.** "Efectos del control del picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) en el plátano." *Revista de Agronomía. Mesoamericana.*(2016), ISSN 10217444. DOI 10.15517/am.v27i2.20552.
6. **Baker, S.** "Aspergillus niger genomics: Past, present and into the future." *Medical Mycology, Oxford Academic* [en línea], (2016), pp. 17–21. Disponible en: https://academic.oup.com/mmy/article/44/Supplement_1/S17/1746935.
7. **Ballesteros, L.V.** "Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo". [en línea]. S.l.: Universidad de San Buenaventura Cartagena, Colombia, 2014 Disponible en: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2247/1/Los Bioplásticos_Laura Ballestero_USBCTG_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2247/1/Los_Bioplásticos_Laura_Ballestero_USBCTG_2014.pdf).

8. **Barrera, D., et al.** "Producción de plástico parcialmente degradable con polietileno de alta densidad (PEAD) y la dextrina del desecho de *Solanum tuberosum*". *Revista QuimicaViva*, vol. 1, no. 12, (2013). pp. 27–38. ISSN 1666-7948.
9. **Caballero, A. y Cruz, D.** "Recuento y caracterización de hongos filamentosos y levaduriformes." 2007, pp. 1–6.
10. **Calvo, M.** "Estructura del almidón". *Bioquímica de los alimentos*, 2009. Disponible en: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html>.
11. **CASTILLO, R., et al.** Bioplástico a Base de la Cáscara del Plátano. *Journal of Undergraduate Research.*, 2015, pp. 35. ISSN 2412-0464.
12. **Chariguamán, J.A.** Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* s pp.). 2015, pp. 68. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>.
13. **ECOEMBES.** Proyecto de Análisis de Bioplásticos. 2009 , pp. 1–15.
14. **ECOINVENTOS.** Bioplásticos: La única alternativa para el futuro, 2016. Disponible en: <https://ecoinventos.com/bioplasticos/>.
15. **Espinosa, V.** Estudios Estructurales de Almidón de Fuentes no Convencionales: Mango (*Mangifera indica* L.) y Plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Centro de Desarrollo de Productos Bióticos*, 2008. pp. 12–15.
16. **Flores-Gorosquera, E., et al.** Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Estudio en planta piloto. *ResearchGate*, 2004, pp. 86–90. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/28095151_Rendimiento_del_proceso_de_extraccion_de_almidon_de_frutos_de_platano_Musa_paradisiaca_L_Estudio_en_planta_piloto.
17. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS.** "FAO Statistics". 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.

18. **Gallur, M.** "Presente y futuro de los biopolímeros como material de envase". [en línea]. Barcelona. España. 2010. Disponible en: http://www.easyfairs.com/fileadmin/groups/10/MIRIAM_GALLUR.pdf.
19. **García-Morato, A.B. y Sánchez, J.J.G.** "Laboratorio de biología y geología." 2011, Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=LpLvDQAAQBAJ>.
20. **García, A.** "Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz". 2015. El Salvador: s.n. ISBN 9789996150210. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/7427/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
21. **García, S.** "Referencias históricas y evolución de los plásticos". *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen Iberoam. Polim*, vol. 10, no. 101, 2009, pp. 71–80.
22. **González, M.** "Propiedades químicas y físicas de los polímeros" [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid. España. 2015. Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma502042k%5Cnhttp://www.expresspolymlett.com/letolt.php?file=EPL-0003129&mi=c%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2014.06.084%5Cnhttp://link.springer.com/10.1007/s10965-015-0733-3%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1016/j.dyepi>.
23. **GREENPEACE.** "Bolsas biodegradables. ", no. 1, 2009, pp. 1–6.
24. **Guerrero, D.** "Almidón". *Almbra Mexicana* [en línea], vol. 1, no. 3, 2014, pp. 1–10. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Almidon_27067.pdf.
25. **Hermida, É.** "Polimeros". *Guia Didactica - Capitulo 9*, 2011 pp. 1–70.
26. **Hongxia, M., et al.** "Soluble Starch Synthase III-1 in Amylopectin Metabolism of Banana Fruit: Characterization, Expression, Enzyme Activity, and Functional Analyses". *Frontiers in Plant Science*. 2017, pp. 454. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5371607/#B49>.

27. **Kirchmer., C., Arboleda., J.& y Castro., M.** *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de Floculación*. 2011. S.l.: s.n.
28. **Lambis et al.** "Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano". *XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química*, no. October 2016, pp. 62–66.
29. **Larry, J. y Dominique, M.** "Propiedades de los almidones aislados del plátano *Dominico Hartón (Musa AAB S .)* durante el almacenamiento poscosecha". *ResearchGate* [en línea], vol. 34, no. 2016, pp. 1343–1345. DOI 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58441. Disponible en: <http://iicta.bogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2017/02/1343D195.pdf>.
30. **Macías, A.** "*Implementación de una microplanta productora de alcohol etílico a partir de tres tipos de musáceas*" S.l.: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 2010. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90584/D-79044.pdf>.
31. **Martínez, G.** "Polímeros". *Revista ciencias*. 1983, pp. 18–24. Disponible en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/pt/139-revistas/revista-ciencias-4/1083-polimeros.html>.
32. **Miranda, J.** "*Reacciones y sus mecanismos en la degradación de polímeros*". S.l.: Instituto Politécnico Nacional. México, 2015. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/18230/25-1-16842.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
33. **Mirel, N.** Polisacáridos ALMIDÓN. 2001, pp. 1–2. Disponible en: <http://www.dfpd.edu.uy/ifd/melo/departamentos/biologia/Polisacaridos.pdf>.
34. **Mondragor, J.** Polimerizacion. 2011 , pp. 1–25.
35. **Múnera, D.** "*Degradación del polietileno de baja densidad por Aspergillus niger*" S.l.: Universidad de los Andes. Colombia. 2009. Disponible en: https://documentodegrado.uniandes.edu.co/documentos/200912382_fecha_2014_08_15_hora_07_13_08_parte_1.pdf.

36. **Muñoz, J.M.** "Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera". 2014, pp. 58.
37. **Narváez, M.A.** *Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón*. S.l.: Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. 2016
38. **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PERÚ.** "Polímeros". 2011. Disponible en: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>.
39. **PROGRAMA AMBIENTAL DE LAS NACIONES UNIDAS.** "El plástico en los mares: una nueva y creciente amenaza a los corales". 2018. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/reportajes/el-plastico-en-los-mares-una-nueva-y-creciente-amenaza-los-corales>.
40. **Reyes-Ocampo, I., González-Brambila, M. y López-Isunza, F.** "Un análisis del metabolismo de *Aspergillus niger* creciendo sobre un sustrato sólido". *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 12, no. 1, 2013. pp. 41–56. ISSN 16652738. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
41. **Segura, D., Noguez, R. y Espín, G.** "Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables". *Biotecnología*, vol. 14, no. November, 2007, pp. 361–371.
42. **Seymour, R. y Carraher, C.** "Introducción a la Química de los polímeros" [en línea]. 2da. Florida. 2002. s.n. ISBN 84-291-7926-7. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=FOobaAs4Wp4C&pg=PA181&dq=polímero+%2B&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiox-C46ZDbAhVFwFkKHbDqCccQ6AEILDAB#v=onepage&q=polímero%2B&f=false>.
43. **TEXTOS CIENTÍFICOS.** "Polímeros sintéticos" ,2013. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/sinteticos>.
44. **Thielen, M.** Bioplastics - Plants and crops, raw materials, products. *Federal ministry of Food*

and Agriculture, 2014.

45. **Thom**. *Penicillium chrysogenum*. *Revista Iberoamericana* [en línea], 2002, pp. 3610. Disponible en: <http://hongos-alergenicicos.reviberoammicol.com/files/036.PDF>.
46. **Yurkanis, B.** "Polímeros Sintéticos". *Química Orgánica*. 2008. S.l.: Disponible en: <http://www.xente.mundo-r.com/explora/quimica3/Polimeros.pdf>.
47. **ZEAPLAST**. *Tipos de bioplásticos* [en línea]. 2012. Chile: s.n. Disponible en: <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/tipos-de-bioplasticos+-21>.

ANEXOS



Bioplástico en la caja Petri



Prueba de lugol en el almidón de plátano



Siembra de las cepas



Toma de peso



Siembra del bioplástico en las unidades experimentales



Unidades experimentales de *Aspergillus niger* con el bioplástico



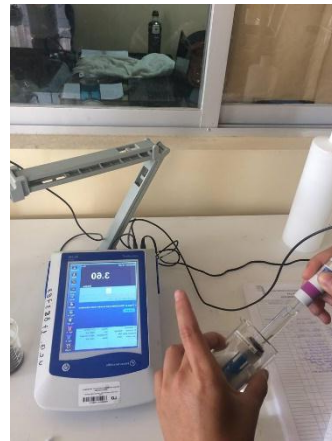
Unidades experimentales de *Penicillium* spp



Unidad experimental de *Penicillium* spp con el bioplástico



Bioplástico extraído de las unidades experimentales de *Aspergillus niger*



Toma de pH de los bioplásticos luego de la fase experimental