



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de
polietileno de baja densidad**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Br. Torres Herrera, Adrian Alfredo (ORCID: 0000-0002-1986-8390)

ASESOR:

Dr. Ponce Ayala, José Elías (ORCID: 0000-0002-0190-3143)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

Chiclayo – Perú

2020

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a mi padre Segundo Torres, que a pesar de no estar conmigo físicamente, me motiva espiritualmente a ser mejor como persona y profesionalmente; a mi madre Rosa Herrera, por su amor incondicional, su apoyo y por todo el gran esfuerzo que ha hecho diariamente por mi educación y poder lograr mi meta.

A mis hermanos, Diego Torres y Daisy Torres, que a pesar de no pasar mucho tiempo conmigo me motivan a seguir adelante, alentándome y dándome fuerzas para no decaer en los malos momentos que atravesamos.

Adrian Alfredo

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer a Dios por la vida, por guiar mi camino y haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida.

A toda mi familia, principalmente a mis padres, Rosa y Segundo.

A mis hermanos, Daisy y Diego, a mi abuelita, Rosa Castillo, a mi sobrino, Lucas, a mi cuñado, Juan; por todo el amor que les tengo a cada uno de ellos y por ser mi motivación en todo el camino de mi vida. Agradecer infinitamente a la Universidad César Vallejo filial Chiclayo, por darme la facilidad de uso del laboratorio, así como de sus equipos e instrumentos durante todo el proceso del trabajo.

Agradecer a mis asesores de esta investigación, al Dr. Herry Lloclla y al Dr. José Ponce, por su paciencia, orientación y por guiarme en la realización de esta Tesis; gracias a sus correcciones y comentarios para ponerlo en práctica en mi vida profesional.

Adrian Alfredo

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores

Yo (Nosotros), ADRIAN ALFREDO TORRES HERRERA estudiante(s) de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "EFECTIVIDAD DEL HONGO ASPERGILLUS NIGER EN LA BIODEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD", es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que el Desarrollo de Proyecto de Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He (Hemos) mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo (asumimos) la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
ADRIAN ALFREDO TORRES HERRERA DNI: 72753502 ORCID 0000-0002-1986-8390	Firmado digitalmente por: ATORRESH el 25 Jul 2020 10:48:47

Código documento Trilce: 25655



Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de Anexos	ix
Índice de abreviaturas	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación	12
3.2. Variables y operacionalización	12
3.3. Población, muestra y muestreo	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	13
3.5. Procedimientos.....	15
3.6. Métodos de análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos	16
IV. RESULTADOS	17
V. DISCUSIÓN	22
VI. CONCLUSIONES	25
VII. RECOMENDACIONES	26
REFERENCIAS.....	27
ANEXOS	33
Acta de aprobación de originalidad de tesis	45
Reporte turnitin.....	46
Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV	47
Autorización de la versión final de trabajo de investigación	48

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Medio de cultivo, incubación, crecimiento e identificación del hongo <i>Aspergillus niger</i>.</i>	17
Tabla 2. <i>Características del hongo <i>Aspergillus niger</i>.</i>	17
Tabla 3. <i>pH inicial, final y temperatura por día del medio de cultivo caldo nutritivo</i>	20
Tabla 4. <i>Resultados de la biodegradación del polietileno de baja densidad</i>	21

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Crecimiento de colonias del hongo <i>Aspergillus niger</i>	18
<i>Figura 2.</i> Observación microscópica del hongo <i>Aspergillus niger</i>	18
<i>Figura 3.</i> Comparación del medio de cultivo antes y después de la incubación..	19
<i>Figura 4.</i> Turbiedad de las esporas del hongo <i>Aspergillus niger</i> por turbidimetría.	20
<i>Figura 5.</i> Niveles de biodegradación del LDPE	21

Índice de Anexos

Anexo 01. Matriz de operacionalización de variables	33
Anexo 02. Instrumento de recolección de datos	34
Anexo 03. Análisis en el laboratorio de la Universidad César Vallejo filial Chiclayo.	35
Anexo 04. Flujograma de la biodegradación del polietileno de baja densidad por el hongo <i>Aspergillus niger</i>	36
Anexo 05. La forma ramificada de polietileno, conocida como polietileno de baja densidad (LDPE).	37
Anexo 06. Símbolo del polietileno de baja densidad.	37
Anexo 07. Recolección de la naranja putrefacta.	38
Anexo 08. Materiales de laboratorio siendo esterilizados en la autoclave.....	38
Anexo 09. Aislamiento e incubación del hongo en PDA e incubación en placa petri y viales a 30 °C por 48 horas.	39
Anexo 10. Crecimiento e identificación microscópica del <i>Aspergillus niger</i>	39
Anexo 11. Biorreactor con caldo nutritivo, y aislamiento del hongo para el proceso de biodegradación.	40
Anexo 12. Peso inicial del polietileno de baja densidad y agregado en el biorreactor.	41
Anexo 13. Peso final del polietileno de baja densidad.....	42

Índice de abreviaturas

BPA	: Bisfenol A
CaCl ₂	: Cloruro de calcio
CDC:	: Centros para Control y Prevención de Enfermedades de EE.UU.
CH ₄	: Metano
CO ₂	: Dióxido de carbono
FeCl ₃	: Cloruro de hierro
HCl	: Ácido clorhídrico
H ₂ O	: Agua
KH ₂ PO ₄	: Fosfato monopotásico
K ₂ HPO ₄	: Fosfato dipotásico
LDPE / PEBD:	Polietileno de baja densidad
MgSO ₄	: Sulfato de magnesio
MINAM	: Ministerio del Ambiente
NH ₄ NO ₃	: Nitrato de amonio
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit (Unidades Nefelométricas de turbidez)
PE	: Polietileno
PET	: Tereftalato de polietileno
PDA	: Potato Dextrose Agar (agar de papa y dextrosa)
PU	: Poliuretano
SDA	: Agar Sabouraud Dextrose
YGC	: Yeast extract glucose chloramphenicol Agar (Extracto de levadura glucosa cloranfenicol Agar)

Resumen

El problema actualmente y el más importante es el incremento de los residuos plásticos, este problema es de gran importancia a nivel mundial, ya que es un material muy utilizado para el consumo diario. Estos residuos causan daños a la salud, ecosistemas, alterando el hábitat de muchos seres vivos y ocasionando la muerte de animales acuáticos. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar la efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de polietileno de baja densidad. Para ello se utilizó una población de 875 cm² de la bolsa de polietileno transparente, teniendo como muestra 10 láminas con un tamaño de 4 cm² cada una. Para el proceso de la biodegradación, se logró aislar de una naranja putrefacta el hongo *Aspergillus niger* en agar PDA, y luego de ello se le dio las condiciones óptimas de pH en un nivel de 5 a 6 al medio de cultivo que contenía el biorreactor Air lift, teniendo como fuente de aireación una pequeña bomba de pecera. El resultado fue eficiente, logrando determinar un promedio de 6.9 % de biodegradación en todas las láminas de PEBD. La temperatura de 20 °C a 30 °C y el pH adecuado, hace que el hongo se mantenga y que el medio de cultivo no se contamine con otros microorganismos, mucho menos se estropeeé.

Palabras claves: Biodegradación, Polietileno de baja densidad, *Aspergillus niger*.

Abstract

Currently and the most important problem is the increase in plastic waste, this problem is of great importance worldwide, since it is a material widely used for daily consumption. These residues cause damage to health, ecosystems, altering the habitat of many living beings and causing the death of aquatic animals. The present research work has the general objective of determining the effectiveness of the *Aspergillus niger* fungus in the biodegradation of low-density polyethylene. For this, a population of 875 cm² of the transparent polyethylene bag was used, having as sample 10 sheets with a size of 4 cm² each. For the biodegradation process, the fungus *Aspergillus niger* was isolated from putrefied orange on PDA agar, and afterwards the optimal pH conditions at a level of 5 to 6 were given to the culture medium containing the Air bioreactor lift, having as a source of aeration a small fish tank pump. The result was efficient, managing to determine an average of 6.9 % biodegradation in all the LDPE sheets. The temperature of 20 °C to 30 °C and the adequate pH makes the fungus to maintain itself and the culture medium is not contaminated with other microorganisms, much less spoiled.

Keywords: Biodegradation, Low density polyethylene, *Aspergillus niger*.

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos municipales en el año 2014, se incrementó a 7,5 millones de toneladas a nivel nacional. Esto significa que a diario son muchas las cantidades de residuos que generan los habitantes de la región costa. Los residuos domiciliarios comprenden un 64 %, mientras que los residuos sólidos no domiciliarios comprenden un 26 % en el Perú (MINAM, 2016, p. 21).

Según el estudio del Ministerio del Ambiente (2018, p.15), el Perú genera 708 000 toneladas de residuos plásticos al año, donde el 43.7 % de estos residuos no se les da un tratamiento adecuado, teniendo en cuenta que los plásticos demoran 1000 años en degradarse según su tipo.

El Ministerio del Ambiente del Perú (2008, p. 18), señala que el manejo de residuos en el país se relaciona con la pobreza, enfermedades y la contaminación ambiental. Asimismo, menciona que el crecimiento de la población, hábitos de consumo inadecuados, procesos migratorios desordenados y la insostenibilidad de los flujos comerciales, generaría una mayor producción de estos, ocasionando riesgos, atentando contra la salud pública y el desarrollo.

La durabilidad del plástico según su tipo se calcula entre 100 y 1000 años en descomponerse. Una bolsa de plástico tarda en descomponerse 150 hasta 400 años, que no solo causan contaminación al medio ambiente, sino que afectan a las especies que habitan en los océanos y principalmente afectan salud de los seres humanos (Gonzáles, 2019, p. 17).

El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos logró identificar 22 enfermedades que se producen por la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, esto se da por la inadecuada protección en el servicio de limpieza al momento de la recolección o de la disposición final de los residuos sólidos (Emma, 2013, p. 4).

La clasificación y caracterización de los residuos sólidos son importantes para planificar a largo plazo y diseñar un plan de gestión integral de residuos sólidos con sistemas eficientes y económicos. Dichos sistemas deben incluir la selección

y operación de equipos para tratamiento y manejo de residuos, tipos de instalaciones de disposición que permitirán la generación de energía y recuperación de recursos (Nyoti, Nyaanga, Owido, Owino y Muniu, 2016, párr. 1).

Tyler (como se cita en el trabajo de Quiñones, 2014, p. 5) nos dice que, los plásticos están compuestos por sustancias petroquímicas, que, a su vez, van formando cadenas largas y repetitivas de moléculas, llamados también polímeros. Además, nos indica que estos polímeros y cerámicas de color amarillo y rojo, contienen cadmio y que, al encontrarse en los alimentos, este metal pesado va a producir descalcificación de los huesos y ocasionar la muerte.

Una evaluación realizada por la gerencia de recursos naturales del Gobierno Regional de Lambayeque, menciona que la región produce 215 429 toneladas de residuos sólidos al año y 601 toneladas al día, que, por la falta de tratamiento o un buen manejo de los residuos sólidos, hace que se incrementen los niveles de contaminación en los diferentes distritos de la región (La República, 2014, párr. 1).

En la presente investigación se estudia la efectividad del hongo *Aspergillus niger* para degradar el polietileno de baja densidad. Para ello se formula el siguiente problema, ¿cuál es la efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de polietileno de baja densidad?

Esta investigación se basa principalmente en tres aspectos:

El primer aspecto importante y principal es el ambiente, ya que, al realizar dicha investigación, se está contribuyendo a disminuir la contaminación por residuos plásticos, buscando la solución para degradar polietileno de baja densidad, mediante el hongo *Aspergillus niger*, microorganismo que se encuentra en frutas y que es fácil de aislar, para así combatir con la contaminación, ya que, para reducir dichos residuos, se ha optado por varias estrategias que no han sido factibles.

La intervención del hombre en los ecosistemas está alterando la capacidad de los mismos para proporcionar bienes (agua dulce, alimentos, fármacos, etc.) y servicios (purificación del aire, suelo, etc.). De igual manera, la alteración de los ecosistemas puede repercutir en la salud. Los efectos a la salud son directamente proporcionales a la dependencia que tiene la población local sobre los ecosistemas y lo que este pudiese proporcionarles (Organización Mundial de la Salud, 2005, párr. 2).

Es importante agregar que la economía será beneficiada con investigaciones de este tipo, debido a que se ha creado procedimientos y tecnologías eficientes para la biodegradación de LDPE en un corto periodo de tiempo, enfrentando problemas de contaminación en la actualidad.

Y por último y no menos importante, la sociedad, que con la reducción del plástico van a disminuir posibles enfermedades a la salud, ya que, según el MINAM (2018), al arrojar los residuos plásticos al ambiente, pasarán por un proceso de degradación, generando micro plásticos menores a 5 mm y mezclándose con otras sustancias que terminan dispersos en el aire, en especies marinas y hasta en el agua que se usa para beber.

Este trabajo tiene como objetivo general, determinar la efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de polietileno de baja densidad.

Para ello se plantearon realizar los siguientes objetivos específicos tales como: aislar e identificar el hongo *Aspergillus niger* a partir de una naranja putrefacta; realizar el proceso de la biodegradación de polietileno de baja densidad enfrentado con el hongo *Aspergillus niger* en un biorreactor; y calcular el porcentaje de biodegradación del polietileno de baja densidad.

De la siguiente manera, para llevar a cabo este trabajo de investigación, se ha planteado las siguientes hipótesis:

Ha= El hongo *Aspergillus niger* es eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad.

Ho= El hongo *Aspergillus niger* no es eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad.

II. MARCO TEÓRICO

Para obtener resultados eficientes, se detallan los siguientes antecedentes investigados a nivel nacional e internacional.

Según Contreras (2017, p. 5), en su tesis “Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado”, nos indica que, realizar el proceso de la biodegradación, disminuye el gran impacto negativo que tiene hacia el ambiente, ya que, según dicha investigación, señala que los hongos filamentosos tienen la capacidad de biodegradar los hidrocarburos. Entre ellos se identificaron quince géneros de hongos, uno de ellos es el género *Aspergillus*, siendo este el más eficiente en la degradación de hidrocarburos totales de petróleo. Esto permite trabajar con dicho genero para la realización de estudios en el tema de degradación.

Cáceres (2011, p. 12), en sus tesis “Biodegradación bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en birreactores Air Lif” tuvo la finalidad de degradar bolsas plásticas de diferentes tipos y origen como bolsa plástica de Plaza Vea, Tottus y bolsas chequeras negras; a través de bacterias *Edwarsiella sp*, *Pseudomonas sp*, y *Alcagines sp*. El autor, elaboró birreactores de tipo Air lif, de material de vidrio, tubos para proporcionarle aireación y una bomba de pecera.

Iparraguirre y Vivanco (2015, p. 8), en su trabajo “Aislamiento y caracterización de hongos filamentosos biodegradadores de polietileno de tereftalato y polietileno de baja densidad”, aisló los hongos en Agar Sabouraud, identificando que el género *Mucor* es la cepa que mayor degrada los polímeros, biodegradando el 1.3 % del peso en tereftalato de polietileno, a una temperatura de 25 °C con pH de 5 y 20 % de polietileno de baja densidad a temperatura de 25 °C con pH de 5 a 7. Para ello utilizó dos técnicas, la primera de Kavelman y la segunda de Kendrick, a una temperatura de 25 a 30 °C con un pH de 5 a 7 durante 60 días, para así obtener y demostrar resultados de la biodegradación. Esto es importante para que sea eficiente la pérdida de la masa del LDPE, además de realizar los ensayos en el laboratorio teniendo en cuenta la temperatura, el tiempo y un sistema que controle la aireación.

Según Barja (2016, p. 15), en su tesis titulada “La eficiencia del hongo *Pestalotiopsis spp* en la biodegradación de los tipos de plásticos (poliuretano, polietileno de baja densidad y poliestireno de cristal), a nivel de laboratorio”, determinó la efectividad del *Pestalotiopsis spp* en la degradación del PET de alta y baja densidad. Cabe recalcar que este microorganismo demuestra su eficiencia en la degradación de poliuretano que en la del polietileno de baja densidad y poliestireno de cristal.

González, et al. (2017, párr. 1), En su trabajo titulado “Cutinasas recombinantes de *Aspergillus nidulans* para biodegradación de poliésteres”, tiene como procedimiento para degradar poliésteres, utilizando las enzimas del hongo *Aspergillus nidulans* capaces de degradar plásticos de poliésteres como PET; todo ello se evaluó por la pérdida de peso, teniendo como resultado que, la degradación de PET es mínima. Esto se concluyó al no ver pérdida de peso en los 3 primeros días.

En el trabajo de Ayala (2015, p. 4), “Estudios en degradación de poliuretano con hongos endófitos del género *Pestalotiopsis*”, utilizó como muestra espuma de poliuretano termoestable, en donde se sometió a cuatro especies de hongo del género *Pestalotiopsis*, los mismos que indicaron cambios en la estructura del polímero, debido a la actividad enzimática de estos hongos. Además, conocer la composición exacta de la espuma de poliuretano no fue del todo posible, por lo que sugiere trabajar con industrias para que se continúe con la búsqueda y cultivo de cepas de microorganismos que puedan degradar eficientemente el poliuretano en tiempos apropiados.

En la investigación, “Degradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, revisión sistemática de la literatura” elaborado por Yepes (2014, p. 8), nos indica que existen hongos capaces de originar enzimas intracelulares y extracelulares que logran asimilar el LDPE (polietileno de baja densidad) dentro de la célula, siendo una de ellas el género *Aspergillus*, para biodegradar dicho material.

En el artículo de Raaman, Rajitha, J ayshree, y J egadeesh (2012, párr. 1), titulada “Biodegradation of plastic by *Aspergillus spp.* isolated from polythene polluted sites around Chennai”, lograron degradar tereftalato de polietileno de baja densidad, seleccionando dos hongos tales como el *Aspergillus niger* y el *Aspergillus japonicus*. El tiempo de degradación se basó en cuatro semanas, en donde se concluye que el hongo *Aspergillus niger* mostró un 8 % en la degradación de polietileno de baja densidad mientras que el *Aspergillus japonicus* mostró un 12 % de degradación revelando la presencia de porosidad y fragilidad de la superficie de polietileno degradada por hongos.

Mathur y Prasad (2012, párr. 1) en su estudio “Degradación del poliuretano (PU) por *Aspergillus flavus*” logró aislar este hongo del suelo. La incubación del poliuretano con *Aspergillus flavus* dio como resultado una reducción del 60.6 % en su peso, este hongo tuvo como única fuente de carbono esta muestra en cultivo de agitación por 30 días.

En el estudio de Santacoloma (2019, párr. 1), evaluó la biodegradación de tres tipos de plásticos como: el poliestireno, polietileno y polipropileno; por acción del hongo *Aspergillus flavus*. Estos plásticos fueron cortados a la medida de 1.5 cm x 1.5 cm para luego colocarlo en contacto con el microorganismo por un periodo de 100 días. En esta investigación se utilizó dos tipos de agares, el Agar Sabouraud Dextrose (SDA) y el Yeast extract glucose chloramphenicol Agar (YGC), teniendo mejores resultados en el agar YGC ya que se observó una disminución del 23.6 % con respecto a la masa inicial.

Mathur, Mathur y Prasad (2011, párr. 1), en su estudio de “Colonization and Degradation of Thermally Oxidized High-Density Polyethylene by (*ITCC No. 6052*) *Aspergillus niger* Isolated from Plastic Waste Dumpsite”, observó aproximadamente una reducción del 3.44 % en la masa, y una reducción del 61 % en la resistencia a la tracción del polietileno después de un mes de incubación con aislamiento fúngico. También observó una gruesa red de hifas fúngicas que forman una biopelícula en la superficie de las piezas de plástico. La eficiente formación de biopelículas en la superficie de polietileno por *Aspergillus niger* se atribuye a su alta hidrofobia en la superficie celular. Este estudio indicó que el

Aspergillus niger tiene la capacidad de degradar el polietileno oxidado térmicamente.

En la investigación “Studies on biodegradation of plastics by *Aspergillus sp.* isolated from dye effluent enriched soil QR code” de Mohan y Suresh (2015, p. 1636), identificaron tres especies de hongos, como el *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* y *Aspergillus foetidus*, estos fueron aislados de tinte enriquecido en efluentes del suelo utilizando técnicas de enchapado y tinción. Los microorganismos fueron incubados en cultivo de caldo adecuado en condiciones de agitación para un período de tiempo de 2 meses con un g de polietileno tiras. Entre las tres cepas de hongos, el *Aspergillus niger* dio el mejor potencial de degradación, logrando degradar 10.5 %, 22.5 % y 38.0 % para 20, 40 y 60 días que el *Aspergillus flavus* y el *Aspergillus foetidus*.

En el estudio de Quinchía y Maya (2015, párr. 1) “Degradabilidad de polietileno de baja densidad –LDPE- utilizando *Pycnoporus sanguineus* UTCH 03”, se evaluó la humedad, temperatura y porcentaje del polímero. Esta degradación del polímero se dio en medios de cultivo durante 6 meses, gracias a la acción del microorganismo que recibe el plástico como fuente de carbono, generando cambios en su estructura en un corto periodo de tiempo.

Según artículo de Gajendiran, Krishnamoorthy, Abraham (2016, párr. 1), titulado “Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil”, aisló una cepa de hongo identificado como *Aspergillus clavatus* para tener como resultado la degradación de LDPE, este estudio se mantuvo en incubación por 90 días en medio acuoso. La degradación tuvo un resultado eficiente, confirmado por el cambio de peso del polietileno.

En el trabajo de Sáenz, Borodulina, Diaz, Banchon (2019, párr. 1), “Condiciones mínimas para degradar el polietileno de baja densidad por *Aspergillus terreus* y *Níger*”, realizó su investigación sin utilizar ningún tratamiento fototérmico, al contrario, usó sacarosa como fuente de carbono adicionalmente polietileno de baja densidad, que, al finalizar, la muestra tuvo una pérdida de peso del 30 % logrado por ambas especies de hongos en diferentes placas.

En este estudio de Esmaeili, et al. (2013, párr. 1), "Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) by Mixed Culture of *Lysinibacillus xylanilyticus* and *Aspergillus niger* in Soil" se aisló los microorganismos de suelos de vertederos durante 126 días utilizando películas de LDPE puro irradiadas con UV y sin UV sin aditivos prooxidantes en presencia y ausencia de cultivos mixtos de microorganismos seleccionados. El proceso fue monitoreado, midiendo la población microbiana, el carbono de la biomasa, el pH y la respiración en el suelo, y las propiedades mecánicas de las películas. Después de 126 días la biodegradación fue mucho más eficiente y los porcentajes de biodegradación fueron 29.5 % y 15.8 %.

En la investigación de Ameen, Moslem, Hadi, Al-Sabri (2015, p. 4), "Biodegradation of Low Density Polyethylene (LDPE) by Mangrove Fungi from the Red Sea Coast" aislaron cuarenta y cinco hongos pertenecientes a 13 géneros, el cual, seis de estos aislamientos y su consorcio pueden crecer en asociación con una película de polietileno de baja densidad, en condiciones in vitro, en ausencia de dextrosa o cualquier otra fuente de carbono. Los hongos acumularon biomasa significativamente más alta, produjeron enzimas ligninolíticas y liberaron mayor volumen de CO₂ logrando consumir la película de LDPE.

Ogunbayo, Olanipekun, Adamu (2019, párr. 1), "Preliminary Studies on the Microbial Degradation of Plastic Waste Using *Aspergillus niger* and *Pseudomonas sp.*" Aislaron ambos microorganismos en un vertedero que contenía LDPE. El medio que contenía hongos y bacterias estaba compuesto por sulfato de magnesio (MgSO₄), fosfato monopotásico (KH₂PO₄), fosfato dipotásico (K₂HPO₄), nitrato de amonio (NH₄NO₃), cloruro de calcio (CaCl₂), cloruro de hierro (FeCl₃), y agua. El pH del medio se ajustó a 5.4 para hongos, 7.2 para bacterias y 6.0 para hongos y bacterias. Ambos experimentos se realizaron aeróbicamente a temperatura ambiente, incubándose en un agitador a 120 rpm, controlándose a intervalos de 10 días durante 60 días, teniendo como resultado en cada experimento, una degradación de 12.4 %, 7.2 % y 15 %. Como conclusión, nos indica que ambos microorganismos degradan polietileno de baja

densidad, sin embargo, el hongo *Aspergillus niger* degrada mejor el plástico que las *Pseudomonas sp.*

Para este trabajo se ha considerado las siguientes teorías, que son de mucha importancia para brindarle una validación científica.

Según Johnson (2019, párr. 2), el polímero es un compuesto químico conformado por moléculas enlazadas por largas cadenas repetitivas. Los polímeros pueden ser naturales tales como: el caucho, la goma laca, la celulosa, etc.; y artificiales o sintéticos que incluyen materiales como el polietileno y el poliestireno. Algunos polímeros sintéticos como el termoplástico son flexibles y otros son permanentemente rígidos como los termoestables.

Polietileno (PE), es una resina ligera, sintética y versátil elaborada de la polimerización de etileno (hidrocarburo conformado por petróleo y/o gas natural), perteneciendo a la familia de resinas de poliolefina. Es el plástico que más se usa a nivel mundial para la fabricación de envolturas de alimentos transparentes, bolsas, botellas de detergente y hasta en tanques de combustibles para carros (Augustyn, 2019, párr. 1).

El Polietileno de baja densidad (LDPE) tiene una cadena muy ramificada, el cual implica mayor volumen, y por ello, su densidad es baja (0.915-0.930 g/cm³). Este polietileno se fabrica en autoclave, a presiones muy altas (3 000 bars) y a temperaturas mayor a 300 °C. Su costo en el mercado es bajo y se utiliza en los sectores industriales, automoción, textil, componentes eléctricos y electrónicos, agricultura, alimentación, etc. (Sáenz, 2008, p. 153).

El efecto de los plásticos en la salud, según Erlen (como se citó en Gonzáles, 2019, p. 4) son dos las sustancias químicas que se encuentran en investigación: El Bisfenol A (BPA) y Ftalatos. Estas sustancias, que se utilizan en la composición de los plásticos, van derritiendo el sistema de cascada con que se producen las hormonas femeninas y masculinas, afectando más a los varones que a las mujeres.

Los plásticos al descomponerse se convertirán en micro plásticos y luego en nano plásticos, partículas que pueden penetrar los tejidos y órganos, ocasionando consecuencias muy graves debido a su bioacumulación en nuestro sistema. Los Centros para control y Prevención de enfermedades de EE.UU. (CDC) según Gonzáles (2019, p. 5), indican que el 93 % de las personas mayores de 6 años, poseen en la sangre niveles detectables de BPA.

El Congreso Nacional del Perú, ha promulgado la Ley N° 30884, que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables que son innecesarios para el consumo, es decir, aquellos que no se reciclan y ocasionan riesgos a la salud pública (El Peruano, 2019).

La degradación de los polímeros según Gama (2014, p. 6), nos detalla que, la degradación de un polímero, es el cambio físico o químico bajo componentes ambientales, en condiciones químicas mediante la hidrólisis u oxidación, o por actividades biológicas, llegando finalmente a su completa degradación.

La biodegradación para Gama (2014, p. 7), es un proceso natural en donde un material se descompone en CO₂, CH₄, H₂O y por constituyentes orgánicos, esto se da por la acción de las enzimas que producen los mismos microbios. Esto indica que la biodegradación, significa la descomposición de todos los materiales orgánicos y/o inorgánicos que se desintegran principalmente por bacterias, hongos y otros organismos a través de la acción metabólica o enzimática de estos microorganismos.

Por otro lado, Posada (1994, p. 84), nos indica que la biodegradación se da por la asimilación de algunos organismos vivos, como: insectos, roedores y otros animales que aprovechan al máximo los polímeros.

Según Montaña, et al. (2010, p. 15), nos indica que, todos los microorganismos están agrupados en dos tipos de familias: procarióticos, clasificadas por las bacterias y las *archaeas*; y por los eucarióticos, clasificados por hongos, algas y protozoarios.

Los hongos son organismos que carecen de clorofila por lo que son heterótrofos. Estos organismos se alimentan por absorción, teniendo en sus paredes celulares un componente principal que es la quitina. El cuerpo vegetativo de los hongos está formado por filamentos delgados llamados hifas, las que presentan crecimiento apical y en conjunto integran el micelio (Hernández y López, 2010, p. 10).

El género *Aspergillus* según Kozakiewicz (como se cita en el libro de Carrillo, 2003, p. 44), nos dice que los hongos de este género causan deterioros en muchos productos alimenticios. Estos organismos metabólicos son demasiado tóxicos, para las personas como para los animales. Especies como el *Aspergillus niger* o *Aspergillus oryzae*, son hongos de mucho interés en la industria, ya que se utilizan en algunos alimentos para su fermentación. Estos mohos tienen distintas tonalidades: como de color verde, amarillo, blanco, pardo, negro y gris. Bajo el microscopio se observan las cabezas conidiales, donde presentan cuatro formas fundamentales: radiada, globosa, claviforme o columnar.

Según el artículo elaborado por Baker (2006, párr. 1), el *Aspergillus niger* es un hongo filamentoso ascomiceto que está en todas partes en el medio ambiente y se ha implicado en infecciones oportunistas de humanos. El *Aspergillus niger* es más conocido por su papel como productor de ácido cítrico. Como miembro común de las comunidades microbianas que se encuentran en los suelos, en el pan y también en las frutas cítricas como el limón y la naranja. Este hongo es también un organismo modelo importante para varias áreas de investigación, incluido el estudio de la secreción de proteínas eucarióticas en general, los efectos de diversos factores ambientales para suprimir o desencadenar la exportación de diversas enzimas degradantes de la biomasa, mecanismos moleculares críticos para el desarrollo del proceso de fermentación y mecanismos implicados en el control de la morfología fúngica.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa, basándose en el peso y tiempo de degradación del polietileno de baja densidad (LDPE).

3.1.2. Diseño de investigación

En cuanto al diseño de esta investigación es pre experimental.

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variable independiente

Efectividad del hongo *Aspergillus niger*

3.2.2. Variable dependiente

Biodegradación de polietileno de baja densidad

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Tomando como referencia el objetivo de la presente investigación, la población consiste en 875 cm² de plástico, equivalente a una bolsa de polietileno de baja densidad. (Arias, Villasís-Keever y Miranda 2016, p. 206).

3.3.2. Muestra

En esta investigación se consideró usar como muestra 10 láminas de 4 cm² de tamaño de la bolsa de polietileno de baja densidad.

3.3.3. Muestreo

Teniendo en cuenta a Otzen Y Manterola (2017, párr. 8), en esta investigación el muestreo es no probabilístico usando la técnica de muestreo por conveniencia.

3.3.4. Unidad de análisis

En esta investigación la unidad de análisis fueron cada una de las pequeñas láminas de 4 cm² de polietileno de baja densidad.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

3.4.1. Técnicas de volumen de biodegradación

En esta investigación las técnicas que se desarrollaran para observar el volumen de la biodegradación del polietileno de baja densidad, según Ángel citado por Chunga y Cieza (2017, p. 16), son las siguientes:

Volumen degradado del polietileno de baja densidad (PEBD):

- Peso biodegradado del polietileno de baja densidad en miligramos

La biodegradabilidad del peso final del plástico se determinó en miligramos a los 10 días, por la acción del hongo *Aspergillus niger* utilizando la siguiente formula:

$$\text{Peso biodegradado LDPE} = \text{peso inicial} - \text{peso final}$$

- Porcentaje del polietileno de baja densidad (PEBD)

Luego de haber obtenido el peso biodegradado de la diferencia del peso inicial menos el peso final, el resultado se convirtió a porcentajes utilizando la siguiente formula:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la elaboración de dicho trabajo de investigación se trabajará principalmente con una de las técnicas más importantes que es la observación y la recolección de datos mediante una ficha de observación ilustrada e intencionada, para así tener conocimientos más específicos.

La ficha de observación elaborado por el autor, servirá como un instrumento para utilizarlo en esta investigación, conformada por recuadros que permiten guiar el desarrollo de la investigación.

3.4.3. Validez y confiabilidad

La validez y la confiabilidad de esta investigación, fue la verificación y autenticidad de los materiales y equipos que se han utilizado durante el desarrollo de cada procedimiento, asegurando un buen funcionamiento y precisión, logrando obtener resultados confiables.

3.4.4. Materiales y equipos

En este proyecto de investigación los instrumentos empleados serán los equipos y materiales del laboratorio de investigación de la Universidad César Vallejo.

Materiales de Campo:

- Guardapolvo
- Guantes
- Mascarilla
- Lentes
- Vaso de recolección de muestra
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica

Materiales de Laboratorio:

- Probeta
- Agua destilada
- Pipeta de 5, 10, 20 ml
- Vaso Precipitado
- Fiolas de 500 ml
- Matraz de 500 ml
- Mechero
- Asa bacteriológica en aro y en punta
- Láminas portaobjetos y cubre objetos
- Placas Petri
- Viales

Medios de Cultivo:

- Agar PDA
- Caldo nutritivo

Reactivos:

- Azul de lactofenol
- Ácido clorhídrico
- Buffer

Equipos de Laboratorio:

- Balanza analítica
- pH-metro
- Autoclave
- Horno - estufa
- Calentador
- Turbidímetro

3.5. Procedimientos**- Procedimiento microbiológico para el aislamiento del *Aspergillus niger*:**

Para el proceso de aislamiento del hongo *Aspergillus niger*, se obtuvo una naranja putrefacta, cuyo medio de cultivo utilizado para el aislamiento, fue agar PDA, incubándolo por 48 horas en el horno a una temperatura de 30 °C.

- Procedimiento microbiológico para la identificación del hongo *Aspergillus niger*:

Para la identificación microscópica del hongo se usa el método de la cinta adhesiva, luego de ello, se observa en el microscopio en diferentes medidas de lentes.

- Procedimiento para obtener una muestra de esporas:

En este procedimiento es necesario tener preparado 10 ml de caldo nutritivo para luego colocarlo en un vial con las esporas. Luego de ello se mide la turbidez en el turbidímetro.

- Procedimiento para la biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE)

Es necesario un birreactor, que contenga caldo nutritivo y una fuente de aireación, y en ella, las láminas de LDPE. Ver anexo 6.

3.6. Métodos de análisis de datos

3.6.1. La observación

Campos y Lule (2012, párr. 1), este método de la observación es un instrumento de análisis muy importante ya que además de utilizarlo en este trabajo de investigación, también se emplea en cada momento de nuestra vida, de esa forma en cada proceso de análisis de laboratorio hemos identificando cada uno de los resultados que posteriormente tendremos que describir y explicar para así tener un mejor entendimiento de dichos resultados de la investigación.

3.6.2. Análisis de laboratorio

Para seguir con el trabajo de investigación es conveniente realizar cuidadosamente los procedimientos en el laboratorio, las cuales nos va a permitir identificar el hongo y degradar las pequeñas láminas de plástico.

3.6.3. Análisis estadísticos

Los datos que se registran en la ficha de observación fueron tabulados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2016. Las variables cualitativas se presentaron en frecuencias y porcentajes Los resultados de los tratamientos se muestran por estadística descriptiva, mediante tablas y gráficos para que se evidencien datos más distinguidos.

3.7. Aspectos éticos

Para la elaboración de dicha investigación se ha tenido en cuenta todos y cada uno de los antecedentes para que este trabajo de investigación sea auténtico y verdadero en los respectivos análisis elaborados en el laboratorio de la Universidad César Vallejo sin necesidad de alterar ningún resultado, mostrando así datos correctos que son de mucha importancia.

Cabe resaltar, que toda la información recopilada de investigaciones científicas relacionadas en la presente investigación, están citadas correctamente basándose en la norma ISO 690, respetando todos los derechos y la propiedad intelectual de cada uno de los autores.

IV. RESULTADOS

Se ejecutaron los procedimientos antes mencionados, para obtener una de nuestras variables importantes, el cual consiste, aislar e identificar el hongo *Aspergillus niger* para el proceso de biodegradación del PEBD.

Descripción de resultados

Teniendo en cuenta el primer objetivo “aislar e identificar el hongo *Aspergillus niger* a partir de una naranja putrefacta” se tiene el siguiente resultado:

Tabla 1. Medio de cultivo, incubación, crecimiento e identificación del hongo *Aspergillus niger*.

Microorganismo	Medio de cultivo	pH	Tiempo de incubación	Tiempo de temperatura
<i>Aspergillus niger</i>	Agar PDA	6	48 horas	30 C°

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: para el crecimiento de este hongo se aisló en un medio de cultivo llamado agar PDA, donde esporulan muy bien para su debido estudio.

Tabla 2. Características del hongo *Aspergillus niger*.

Microorganismo	Características microbianas
<i>Aspergillus niger</i>	Este un microorganismo que pertenece al grupo de los hongos <i>Aspergillus</i> negros. Se pudo observar en la placa petri su crecimiento por colonias. La formación de sus cabezas conidiales crea figuras esféricas y globosas, formando así los conidióforos irregulares o bien definidos de color negro café. Su medida de las colonias del <i>Aspergillus niger</i> en la placa petri son de 4 a 5 μ .

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se ha identificado al *Aspergillus niger* con sus respectivas características, para ello se requirió información bibliográfica relacionada y ayuda de especialistas en microbiología.

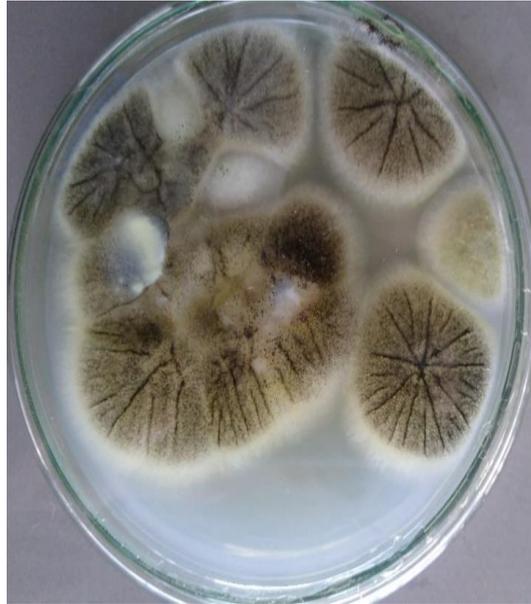


Figura 1. Crecimiento de colonias del hongo *Aspergillus niger*

Interpretación: En la figura se observa el crecimiento del hongo *Aspergillus niger* con varias colonias en el medio de cultivo agar PDA.

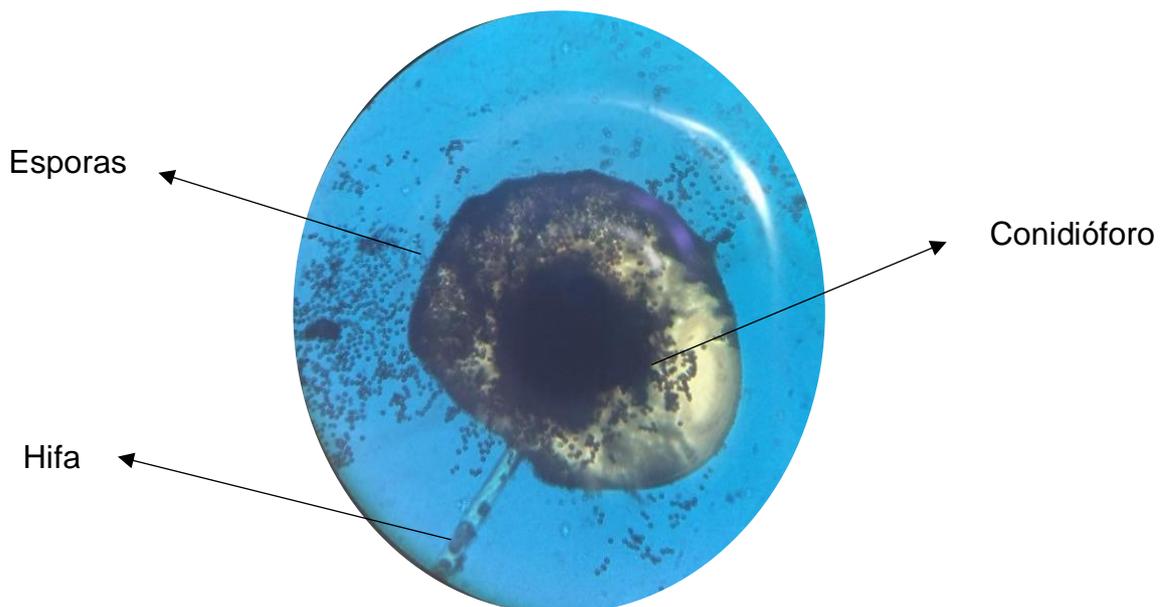


Figura 2. Observación microscópica del hongo *Aspergillus niger*

Interpretación: Se puede observar una imagen microscópica, a un lente de 100x las características del hongo *Aspergillus niger*. Para que este se observe con mejor claridad, se tiñe con una gota de azul de algodón en una lámina portaobjetos para luego colocar encima de ella una cinta adhesiva con las esporas del hongo.

Teniendo en cuenta el segundo objetivo “realizar el proceso de la biodegradación de polietileno de baja densidad enfrentado con el hongo *Aspergillus niger* en un biorreactor”, se construyó un biorreactor utilizando una jarra de vidrio, un equipo venoclisis, una bomba de aire de pecera y un soporte para el biorreactor.



Figura 3. Comparación del medio de cultivo antes y después de la incubación.

Interpretación: La capacidad del birreactor es de 1000 ml, conteniendo 500 ml de caldo nutritivo, se incubo a 30 °C en el horno estufa. Luego de dos días se observó enturbiamiento del medio, tal como se observa en la figura 3, lo cual significa que este microorganismo se ha desarrollado en óptimas condiciones, para proceder a agregar las pequeñas láminas de polietileno de baja densidad. Se le dio aireación mediante una bomba de aire de pecera para evitar que el medio de cultivo no se contamine y así evitar el crecimiento de otros microorganismos.



Figura 4. Turbiedad de las esporas del hongo *Aspergillus niger* por turbidimetría.

Interpretación: Para saber el aproximado de células que mantenía el biorreactor, se utilizó 10 ml de agua destilada conteniendo esporas del hongo *Aspergillus niger*, para luego ser colocado en el turbidímetro, proyectando un resultado de 0.39 NTU de turbidez en la muestra.

Tabla 3. pH inicial, final y temperatura por día del medio de cultivo “caldo nutritivo”

Número de días	pH inicial	pH final	Temperatura (°C)
Día 1	5.8		23.9 °C
Día 2	7.32	5.6	24.3 °C
Día 3	7.54	5.85	23.2 °C
Día 4	7.59	5.78	22.4 °C
Día 5	7.8	5.06	22.2 °C
Día 6	7.4	5.5	23.6 °C
Día 7	7.2	5.9	24.5 °C
Día 8	7.5	5.6	25.4 °C
Día 9	7.3	5.72	25.7 °C
Día 10	7.41	5.9	26.3 °C

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: En la tabla 4 nos muestra el pH inicial y final del medio de cultivo en el biorreactor. Sin embargo, se debe medir diariamente el pH, ya que por la fermentación del medio de cultivo este se va incrementar de forma diaria, por lo

tanto, se debe bajar el pH con HCl dejándolo en un pH óptimo que varíe de 6 a 7.

Con respecto al tercer objetivo “calcular el porcentaje de biodegradación del polietileno de baja densidad” se utilizaron las fórmulas según Ángel citado por Chunga y Cieza (2017).

Tabla 4. Resultados de la biodegradación del polietileno de baja densidad

PEBD	N.º	Inicio (mg)	Final (mg)	%
	1	15.3	14.4	5.9
	2	15.2	14.0	7.9
	3	15.3	14.7	3.9
	4	15.4	14.6	5.2
	5	15.3	14.3	6.5
	6	15.3	13.9	9.2
	7	15.2	13.6	10.5
	8	15.3	15.1	1.3
	9	15.3	14.1	7.8
10	15.4	13.8	10.4	

Fuente: Elaboración propia

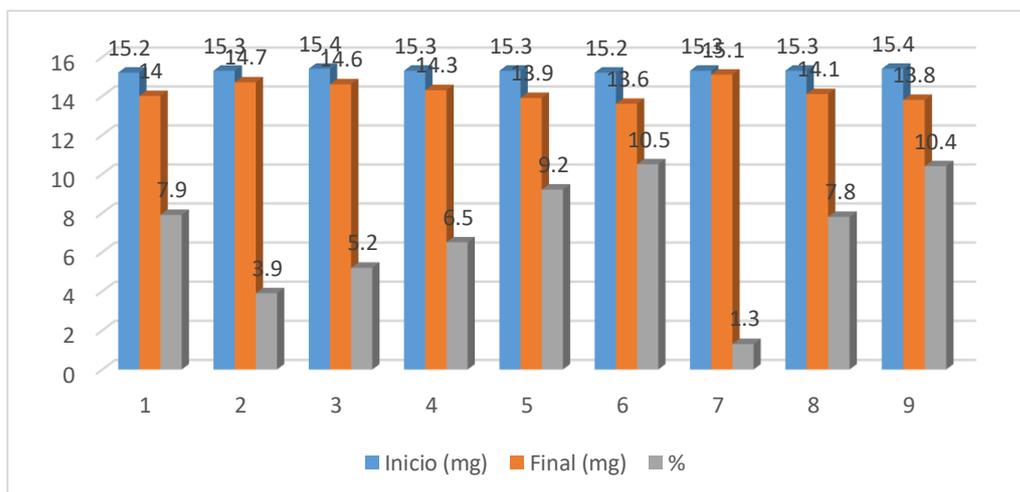


Figura 5. Niveles de biodegradación del LDPE

Interpretación: Podemos observar que las 10 láminas de polietileno de baja densidad, lograron bajar su peso en un periodo de diez días. Sin embargo, la séptima lámina tubo un mayor porcentaje de biodegradación lo cual representa un buen resultado.

V. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el objetivo general que es determinar la efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de polietileno de baja densidad, primero se tuvo que investigar los trabajos previos para la respectiva identificación del hongo *Aspergillus niger*.

Con respecto a la definición de Baker (2006), nos damos cuenta que este hongo es fácil de aislar, ya que se optó por utilizar una naranja putrefacta que tenía presencia de mohos color negro, el cual fue aislado en un medio de cultivo, logrando identificar el hongo esperado.

Respecto al resultado de la identificación del *Aspergillus niger* y a la biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE), se trabajó cuidadosamente en el laboratorio de la Universidad César Vallejo.

En el estudio de Contreras (2017), indica que el género *Aspergillus* es efectivo en en la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo. Sin embargo, gracias al proceso de esta investigación y a sus resultados, este género no solo es efectivo en la biodegradación de hidrocarburos, sino que también es efectivo en la biodegradación de polietileno de baja densidad en condiciones de laboratorio.

Cáceres (2011), en su investigación, utilizó birreactores de tipo Air lift, el cual hemos tenido conveniente trabajar con este modelo para almacenar el medio de cultivo con el hongo, dándole aireación mediante una bomba de aire de pecera, para que finalmente podamos agregar las pequeñas láminas de polietileno de baja densidad y al cabo de días ver los resultados.

Con respecto a la investigación de Iparraguirre y Vivanco (2015), para aislar los hongos, utilizó SDA. Sin embargo, en la presente investigación se trabajó con PDA para una buena esporulación del hongo. Se consideró el mismo nivel de temperatura y pH, para que el microorganismo tenga un crecimiento adecuado en el medio de cultivo, se necesita un rango de 5 a 6 de pH. El proceso de biodegradación se desarrolla a una temperatura de 20 °C a 30 °C. En este trabajo de investigación el tiempo del proceso de biodegradación fue en 10 días.

Respecto a los resultados obtenidos en este trabajo, el hongo *Aspergillus niger* es efectivo en la biodegradación de PEBD, en comparación al género *Pestalotiopsis spp.* que, según los estudios de dos autores, es más eficiente degradando poliuretano que polietileno de baja densidad (Barja, 2016).

En la investigación de González, et al. (2017), utilizó las enzimas del hongo *Aspergillus nidulans* para degradar poliésteres como tereftalato de polietileno, evaluando el proceso solo por el peso, concluyendo la investigación en tres días al no ver resultados eficientes. Ante este resultado podemos recalcar que, en la presente investigación, el hongo *Aspergillus niger* es efectivo en el proceso de biodegradación desde el primer día de práctica, brindándole los niveles adecuados de pH, temperatura, etc.

Según el estudio de Raaman, et al. (2012), utilizó también polietileno de baja densidad, calculando el proceso de degradación en 4 semanas con diferentes especies de hongos: *Aspergillus niger* y *Aspergillus japonicus*. Su promedio de degradación fue de 8 y 12 %. Pese a esto, el promedio de la biodegradación del polietileno de baja densidad en este trabajo enfrentado con el hongo *Aspergillus niger* es de 6.9 % en tan solo 10 días.

Las láminas de PEBD tienen un tamaño de 4 cm² a diferencia de otra investigación (Santacoloma, 2019) que utilizó medidas más pequeñas, con dos tipos de agares SDA y YGC, con un tiempo de degradación de 100 días, sin embargo, en esta investigación se utilizó agar PDA para el buen crecimiento del microorganismo.

Con la investigación de Mohan y Suresh (2015), se puede decir que el hongo *Aspergillus niger* es eficiente en la degradación de polietileno, dependiendo el tiempo del proceso, ya que según Quinchía y Maya (2015) este hongo utiliza el polímero como fuente de carbono para seguir presente en el medio de cultivo, logrando cambios en poco tiempo. Sin embargo, este hongo también puede utilizar la sacarosa sin ningún tipo de tratamiento fototérmico según Saénz, et al. (2019).

El hongo *Aspergillus niger* en el estudio de Ameer, Moslem, Al-sabri (2015), producen enzimas ligninolíticas, aquellas enzimas que son capaces de oxidar el polímero, rompiendo su cadena molecular muy ramificada, relacionado con el concepto de Gama (2014), dada por el cambio físico o químico por constituyentes orgánicos principalmente por bacterias y hongos u otros microorganismos. Dando a entender en la presente investigación, que por este proceso que hace el mismo microorganismo con el plástico, se da finalmente la disminución del peso.

En el trabajo de Ogunbayo, Olanipekun y Adamu (2019), preparó el medio con compuestos químicos como: ($MgSO_4$), (KH_2PO_4), (K_2HPO_4), (NH_4NO_3), ($CaCl_2$), ($FeCl_3$) en 1000 mililitros de agua, una forma muy diferente para que hongos y bacterias puedan crecer, ajustándose un pH de 5.4 similar al presente trabajo. Se necesitó un agitado de a 120 rpm teniendo como resultado 12.4 % de degradación por el hongo *Aspergillus niger*, así mismo, en esta investigación se utilizó una fuente aireación utilizando un motor de pecera a velocidad media, controlando de forma diaria el incremento del pH para que en el medio de cultivo no haya otros microorganismos que influyan en la degradación del polietileno de baja densidad.

VI. CONCLUSIONES

1. Al aislar e identificar el hongo *Aspergillus niger* a partir de una naranja putrefacta, tuvo un resultado eficaz, ya que el proceso de aislamiento se realizó cuidadosamente, utilizando materiales esterilizados, otorgándole las condiciones necesarias para que el microorganismo deseado no se contamine por bacterias o levaduras, observando un crecimiento adecuado y finalmente logrando identificar el hongo *Aspergillus niger*.
2. Al realizar el proceso de la biodegradación de polietileno de baja densidad enfrentado con el hongo *Aspergillus niger* mediante un birreactor, tuvo un buen funcionamiento al tener como fuente de aireación una bomba pequeña de pecera. Con respecto al pH, este se incrementa cada 24 horas debido al proceso biológico del microorganismo, sin embargo, se tiene que estabilizar el pH con reactivos y así no contaminar la muestra.
3. Al calcular el porcentaje de biodegradación de polietileno de baja densidad, tuvo un resultado eficiente, logrando disminuir el peso de las láminas, teniendo un promedio de 6.9 % de biodegradabilidad en un periodo de 10 días tal como se muestra en la tabla N° 05.

VII. RECOMENDACIONES

1. Medir el pH de forma diaria, con la finalidad de mantenerlo en un nivel óptimo para que de esta manera el medio de cultivo no se contamine.
2. Utilizar otro tipo de polietileno con la finalidad de comprobar que el hongo *Aspergillus niger* pueda degradarlo con mayor facilidad.
3. Aumentar los días para obtener mayor porcentaje de biodegradación en el tipo de polietileno que se esté estudiando.
4. Es importante sacar una muestra de la presencia del hongo que se encuentra en el biorreactor y observar que no haya crecimiento de otros microorganismos que puedan influir en la degradación del polietileno de baja densidad.
5. Es importante mantener el biorreactor cerrado para que no se contamine el medio cultivo, además, la fuente de aireación debe ser mínima para evitar que el medio de cultivo no se estropeeé.

REFERENCIAS

AUGUSTYN, Adam. Polyethylene. Encyclopedia Britannica [en línea]. 15 de noviembre de 2019. [Fecha de consulta: 05 de diciembre de 2019].
Disponible en: <https://www.britannica.com/science/polyethylene>

AMEEN, F., MOSLEM, M., HADI, S. y AL-SABRI, A.E. Biodegradation of Low Density Polyethylene (LDPE) by Mangrove Fungi from the Red Sea Coast. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology* [en línea]. vol. 31, no. 2. 01 de mayo de 2015. pp. 125-143. [Fecha de consulta: 29 septiembre 2019].
Disponible en <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/147776061503100204>
ISSN 1477-7606

ARIAS, Jesús; VILLASÍS, Miguel y MIRANDA, María. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México* [en línea]. Vol. 63, no. 2. Abril – junio 2016. [fecha de consulta 5 de septiembre de 2019].
Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
ISSN: 0002-5151

BAKER, Scott. *Aspergillus niger genomics: Past, present and into the future* [en línea]. setiembre de 2006, s.n. [Fecha de consulta: 11 de Septiembre de 2019].
Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13693780600921037>

AYALA, Laura. Estudios en degradación de poliuretano con hongos endófitos del género *pestalotiopsis*. Tesis (Licenciada en Ciencias Biológicas). Ecuador, Quito: Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, 2015. 37 pp. [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2019].
Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9934>

BARJA, Carlos. La eficiencia del hongo *Pestalotiopsis spp* en la biodegradación de los tipos de plásticos (poliuretano, polietileno de baja densidad y poliestireno de cristal), a nivel de laboratorio. Tesis (Título Profesional De Ingeniero Ambiental) Lima: Universidad César Vallejo, 2016. 16 pp. [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2019].
Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/817>

CÁCERES, Osmar. Biodegradación bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en biorreactores Air Lif. Tesis (Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, 2011. 82 pp. [Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2019].
Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/356>

CAMPOS, Guillermo y LULE, Nallely. La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai* [en línea]. Vol. 7, n.º 13. 2012. 2003 [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2019].
Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3979972>
ISSN: 1870-6703

CARRILLO, Leonor. Lo hongos de los alimentos y forrajes [en línea]. Argentina: Universidad Nacional De Jujuy, Universidad Nacional De Salta, 2003 [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2019]. Capítulo 4. *Aspergillus*. Disponible en: <http://www.microbiota.com.ar/sites/default/files/4aspergilos.pdf> ISBN 987-9381-19-X.

CHUNGA, Lourdes y CIEZA, Carlos. Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el Humus de lombriz durante los meses, octubre - diciembre 2016. Tesis (Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental). Chiclayo: Universidad de Lambayeque, Facultad de Ingeniería, 2017. 52 pp. [Fecha de consulta: 6 de octubre de 2019] Disponible en: <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/83>

CONTRERAS, Hans. Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado. Tesis (Para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología-Microbiología-Parasitología). Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, 2017. 106 pp. [Fecha de consulta: 6 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/1350/BC-TES-TMP-183.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EMMA, Selin. Solid waste management and health effects. Tesis (para optar el Grado en Protección del Medio Ambiente y Salud. Universitet Umea, enero, 2013. [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:607360/fulltext02>

ESMAEILI, Atefeh, [et al]. Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) by Mixed Culture of *Lysinibacillus xylanilyticus* and *Aspergillus niger* in Soil. PLOS ONE [en línea]. vol. 8, no. 9. 23 de septiembre de 2013 [Fecha de consulta: 08 de septiembre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071720> ISSN 19326203

GAJENDIRAN, A., KRISHNAMOORTHY, S. y ABRAHAM, J. Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil. 3 *Biotech* [en línea]. vol. 6, no. 1, 13 de febrero de 2016. pp. 1-6. [Consulta: 28 septiembre 2019]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-016-0394-x> ISSN 21905738.

GAMA, Cynthia. Accion de la celulosa en la biodegradación de películas de gelatina. Tesis (Grado de Maestría en Ciencias de Desarrollo de Productos Bioticos). Morelos: Instituto Politecnico Nacional, 2014. 82 pp. [Fecha de consulta: 25 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13565/Tesis%202014%20Cynthia%20Gama%20Abundez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GONZÁLEZ, Amelia [et al] 2017. Cutinasas recombinantes de *Aspergillus nidulans* para biodegradación de poliésteres. 30 de noviembre de 2017 [Fecha de consulta: 9 de Septiembre de 2019].

Disponible en:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/d3/32/03/a308218c11c97e/WO2017204615A2.pdf>

ISBN WO 2017/204615 A2

GONZÁLES, Vicky. Capacidad biodegradativa de hongos filamentosos frente al polietileno. Tesis (Doctor en Ciencias de la Salud). Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2019, 85 pp.

Disponible en:
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12254/Vicky_Cristina_Gonzales_Alcas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

HERNÁNDEZ, Ricardo y LÓPEZ, Claudia. 2010. Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de cundinamarca. Tesis (Título Profesional de Microbiólogo Industrial). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias , 2010. 106pp. [Fecha de consulta: 10 de Octubre de 2019].

Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis257.pdf>

IPARRAGUIRRE, Katherine y VIVANCO, Madeleyne. Aislamiento y caracterización de hongos filamentosos biodegradadores de polietileno de tereftalato y polietileno de baja densidad. Tesis (Título Profesional de Biólogo). Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Facultad de Ciencias Biológicas, 2015. 100 pp. [Fecha de consulta: 6 de Septiembre de 2019]

Disponible en: <http://repositorio.unica.edu.pe/handle/UNICA/2196>

JOHNSON, Todd. What Is a Polymer? [en línea]. 18 de enero de 2019. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2019].

Disponible en <https://www.thoughtco.com/what-is-a-polymer-820536>

KOZAKIEWICZ, Z. *Aspergillus species on stored products* [en línea]. CABI Publishing, junio de 1989 [Fecha de consulta: 10 de Octubre de 2019] .

Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19891355000>

ISSN: 0027-5522 ISBN: 0851986323

Ley n.º 30884. *Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 19 de diciembre de 2018.

MOHAN, K. y SURESH, B. Studies on biodegradation of plastics by *Aspergillus* sp. isolated from dye effluent enriched soil QR code [en línea]. Vol. 2015. n.o.2. octubre 2015 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019].

Disponible en https://www.researchgate.net/publication/303792891_STUDIES_ON_BIODEGRADATION_OF_PLASTICS_BY ASPERGILLUS SP ISOLATED FROM DYE EFFLUENT ENRICHED SOIL QR code

ISSN 2349-7750

MANAY, Nataly. Lambayeque genera más de 601 toneladas de residuos sólidos diariamente [en línea]. La República. 2 de Diciembre de 2014. [Fecha de consulta: 6 de octubre de 2019].

Disponible en: <https://larepublica.pe/archivo/838180-lambayeque-genera-mas-de-601-toneladas-de-residuos-solidos-diariamente/>

MATHUR, G; MATHUR, A y PRASAD, R. Colonization and Degradation of Thermally Oxidized High-Density Polyethylene by (*ITCC No. 6052*) *Aspergillus niger* Isolated from Plastic Waste Dumpsite. revista de Bioremediation Journal [en línea]. Vol. 15. n.o.2. 24 de mayo de 2011 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019].

Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10889868.2011.570281>

MATHUR, G. y PRASAD, R., Degradation of Polyurethane by *Aspergillus flavus* Isolated from Soil. Appl Biochem Biotechnol [en línea]. Vol. 167. n.o.6. 26 febrero 2012 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019].

Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-012-9572-4>
ISSN: 02738229

MINAM, 2016. Plan Nacional de gestión integral de residuos sólidos 2016 – 2024.

Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>

MUÑOZ, Fabiola. Implementación de las recomendaciones de la OCDE en relación a la gestión y manejo de los Residuos Sólidos a nivel Nacional [en línea]. MINAM, 2 de octubre de 2018. [Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2019].

Disponible en: [http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2018/Produccion/files/ppt/4ta_\(1\)_sesion_ord._2018_1002_cr_pl%C3%A1stico.pdf](http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2018/Produccion/files/ppt/4ta_(1)_sesion_ord._2018_1002_cr_pl%C3%A1stico.pdf)

MONTAÑO, Noé [et al.]. Los Microorganismos: Pequeños Gigantes. Elementos: Ciencia y cultura [en línea]. Vol. 17. n.o. 77. febrero-abril, 2010. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019].

Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/294/29411989003.pdf>

ISSN: 0187-9073

NYOTII, M. [et al]. Classification and Characterization of Solid Waste – Case Study of Egerton University and its Environs, Kenya. *International Research Journal of Engineering and Technology* [en línea]. Vol. 11. Noviembre 2016. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019].

Disponible en <https://www.irjet.net/archives/V3/i11/IRJET-V3I1101.pdf>

ISSN: 2395-0072

OGUNBAYO, A.O., OLANIPEKUN, O.O. y ADAMU, I.A. Preliminary Studies on the Microbial Degradation of Plastic Waste Using *Aspergillus niger* and *Pseudomonas sp.* *Journal of Environmental Protection* [en línea]. vol. 10, no. 05. 05 de mayo de 2019. pp. 625-631. [Consulta: 08 de septiembre de 2019].

Disponible

en

<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=92467>

ISSN: 2152-2197

OMS | Bienes y servicios de los ecosistemas para la salud. [en línea] [citado el 20 de octubre de 2019].

Disponible en: <https://www.who.int/globalchange/ecosystems/es/>

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* [en línea]. vol.35, n.1. marzo, 2017. [Fecha de consulta 20 de septiembre de 2019]

Disponible

en

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci_arttext

ISSN 0717-9502

POSADA, Beatriz. 1994. La degradacion de los plasticos . Universidad: EAFIT [en línea]. Vol. 30. n.o. 94. 15 de agosto de 2012. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019].

Disponible en <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>

ISSN: 0120-341X

QUINCHÍA, A. y MAYA, S. Degradabilidad de polietileno de baja densidad – LDPE- utilizando *pycnoporus sanguineus* UTCH 03 [en línea]. Colombia: Escuela de Ingeniería de Antioquia, Septiembre de 2015. 9 pp. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020].

Disponible

en:

<https://acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1393/499>

QUIÑONES, William. Presencia de residuos plásticos y su repercusión sobre la biomasa en zonas circundantes al botadero de residuos sólidos de la Municipalidad de Puno. Tesis (Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental). Puno: Universidad Privada San Carlos, Facultad de Ingenierías, 2014. 36 pp. [Fecha de consulta: 6 de septiembre de 2019].

Disponible

en:

http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/4390/William_QUI%C3%91ONES_GARCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RAAMAN, N [et al]. Biodegradation of plastic by *Aspergillus spp.* isolated from polythene polluted sites around Chennai. ResearchGate [en línea]. Vol.1. n.o. 6. enero 2012 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019].

Disponible en https://www.researchgate.net/publication/260165470_Biodegradation_of_plastic_by_Aspergillus_spp_isolated_from_polythene_polluted_sites_around_Chennai
ISSN 2278-5213

SÁENZ, Melina [et al]. Minimal Conditions to Degrade Low Density Polyethylene by *Aspergillus terreus* and *niger*. Journal of Ecological Engineering [en línea]. vol. Vol. 20, no. nr 6. 2019 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019]

Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/108699>
ISSN 2299-8993

SÁENZ, Victor. Contribución al estudio de la degradación ambiental de poliolefinas fotoestabilizadas. Tesis (Doctorado en Ciencias Químicas). España, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2008, 512 pp.

Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/2909>

SANTACOLOMA, S. Evaluación de la biodegradación del polietileno, poliestireno y polipropileno, mediante ensayos controlados en suspensión sólida con el hongo *Aspergillus flavus*. revista de Scientia et technica [en línea]. Vol. 24 n.o.3. 2019 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019].

Disponible en <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/20731>
ISSN: 2344-7214

YEPES, Laura. Degradación de Polietileno de Baja Densidad Utilizando Hongos. Revisión sistemática de la literatura. Tesis (Para obtener el grado de Microbióloga Industrial). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, 2014. 49 pp. [Fecha de consulta: 7 de septiembre de 2019].

Disponible en: <http://hdl.handle.net/10554/16184>

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	
DEPENDIENTE	biodegradación de polietileno de baja densidad	Posada (1994), nos dice que la biodegradación es la asimilación por los mismos microorganismos vivos que se alimentan de los polímeros, incluyendo que la asimilación también se da por insectos, roedores y otros animales.	La biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) se medirá mediante el peso inicial y final del LDPE estando en un medio de cultivo, para poder así obtener diferencias en la masa.	Masa del polietileno de baja densidad	Tamaño Peso inicial de PEBD Peso final de PEBD	razón
INDEPENDIENTE	efectividad del hongo <i>Aspergillus niger</i>	Baker (2006), este un hongo filamentoso ascomiceto que está en todas partes en el medio ambiente y se ha implicado en infecciones oportunistas de humanos y es más conocido por su papel como productor de ácido cítrico	La efectividad del hongo <i>Aspergillus niger</i> dependerá de sus características, de la temperatura a la que se le acondicionará, color y alimentación.	Condiciones térmicas del <i>Aspergillus niger</i> Características del <i>Aspergillus niger</i>	Temperatura (°C) pH Color Alimentación	intervalo nominal

Anexo 02. Instrumento de recolección de datos

FICHA DE OBSERVACIÓN			
Investigación	<input style="width: 90%;" type="text"/>		
Observador	<input style="width: 90%;" type="text"/>		
Asesor	<input style="width: 90%;" type="text"/>		
Lugar	<input style="width: 90%;" type="text"/>		
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de polímero	<input style="width: 150px;" type="text"/>	Microorganismo	<input style="width: 100px;" type="text"/>
Medio de cultivo	<input style="width: 150px;" type="text"/>	Volumen del medio de cultivo	<input style="width: 100px;" type="text"/>
Temperatura	<input style="width: 150px;" type="text"/>	pH Inicial	<input style="width: 100px;" type="text"/>
Fecha de inicio	<input style="width: 150px;" type="text"/>	pH final	<input style="width: 100px;" type="text"/>
		Fecha de fin	<input style="width: 100px;" type="text"/>
DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO			
Peso inicial		Peso final	
<input style="width: 150px;" type="text"/>		<input style="width: 150px;" type="text"/>	

Anexo 03. Análisis en el laboratorio de la Universidad César Vallejo filial Chiclayo.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA

TIPO DE ANÁLISIS : Microbiológico

USUARIO : Torres Herrera Adrian Alfredo

PROYECTO : Efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de polietileno de baja densidad

FECHA DE EMISIÓN : 10 de diciembre del 2019

EQUIPO / MEDIO DE CULTIVO	MICROORGANISMO
Microscopio	Hongo <i>Aspergillus niger</i>
Agar papa dextrosa (PDA)	
Caldo nutritivo	

Microorganismo identificado en ambos medios de cultivo

DÍA	pH INICIAL	pH FINAL	TEMPERATURA (°C)
01	5.8		23.9
02	7.32	5.85	24.3
03	7.54	5.85	23.2
04	7.59	5.78	22.4
05	7.8	5.06	22.2
06	7.4	5.5	23.6
07	7.2	5.9	24.5
08	7.5	5.6	25.4
09	7.3	5.72	25.7
10	7.41	5.9	26.3

pH inicial, final y temperatura por día en el medio de cultivo "caldo nutritivo"

LÁMINA	POLÍMERO	PESO INICIAL (mg)	PESO FINAL (mg)	PORCENTAJE (%)
01	LDPE	15.3	14.4	5.9
02	LDPE	15.2	14.0	7.9
03	LDPE	15.3	14.7	3.9
04	LDPE	15.4	14.6	5.2
05	LDPE	15.3	14.3	6.5
06	LDPE	15.3	13.9	9.2
07	LDPE	15.2	13.6	10.5
08	LDPE	15.3	15.1	1.3
09	LDPE	15.3	14.1	7.8
10	LDPE	15.4	13.8	10.4

Resultados de la biodegradación del polietileno de baja densidad

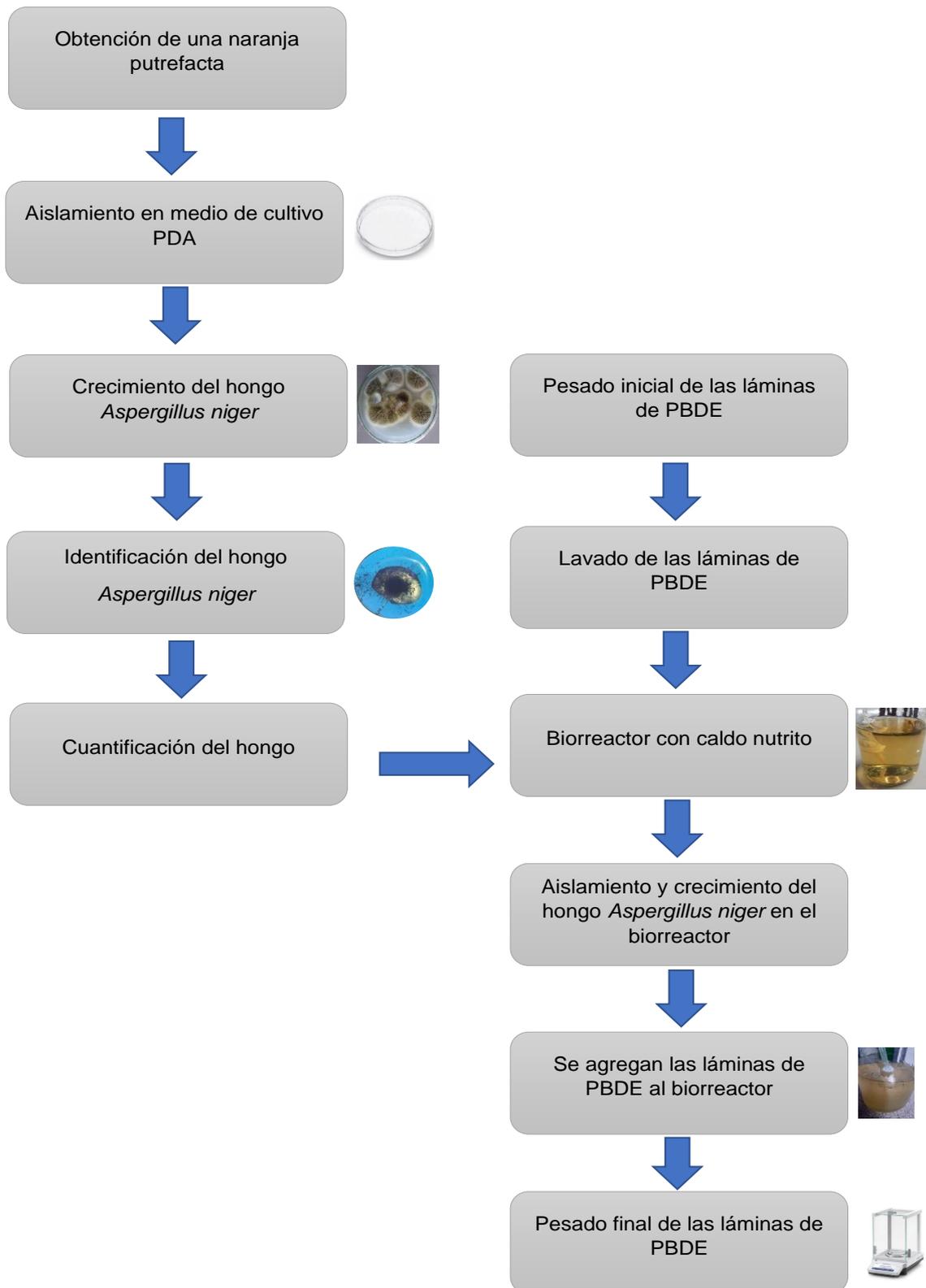
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO


Ing. Diana Karolina Quiroz Incio
Laboratorio de biotecnología y microbiología

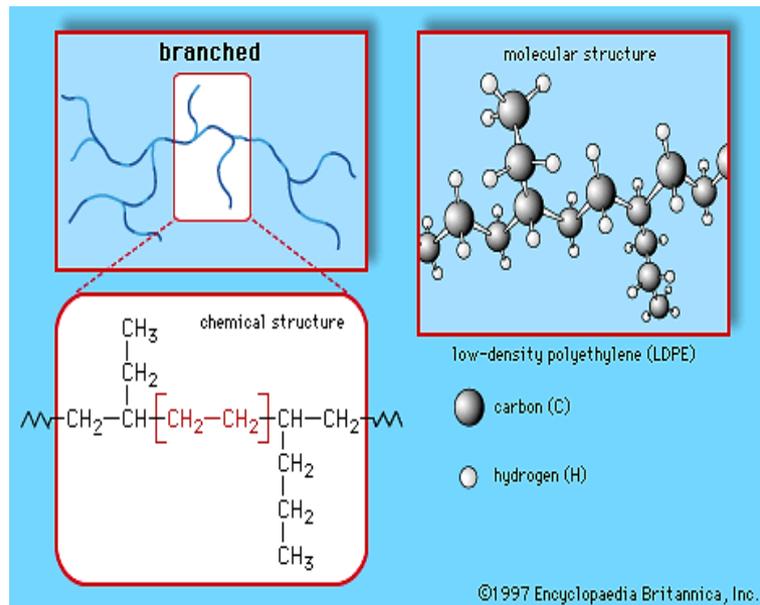
CAMPUS CHICLAYO
Carretera Pimentel Km. 3.5
Tel.: (074) 481 616 Anx.: 6514

fb/ucv.peru
@ucv_peru
#saliradelante
ucv.edu.pe

Anexo 04. Flujo de la biodegradación del polietileno de baja densidad por el hongo *Aspergillus niger*.



Anexo 05. La forma ramificada de polietileno, conocida como polietileno de baja densidad (LDPE).



Fuente: Encyclopedia Britannica, Inc.

Anexo 06. Símbolo del polietileno de baja densidad.



Fuente: Wikiwand

Anexo 07. Recolección de la naranja putrefacta.



Anexo 08. Materiales de laboratorio siendo esterilizados en la autoclave



Anexo 09. Aislamiento e incubación del hongo en PDA e incubación en placa petri y viales a 30 °C por 48 horas.

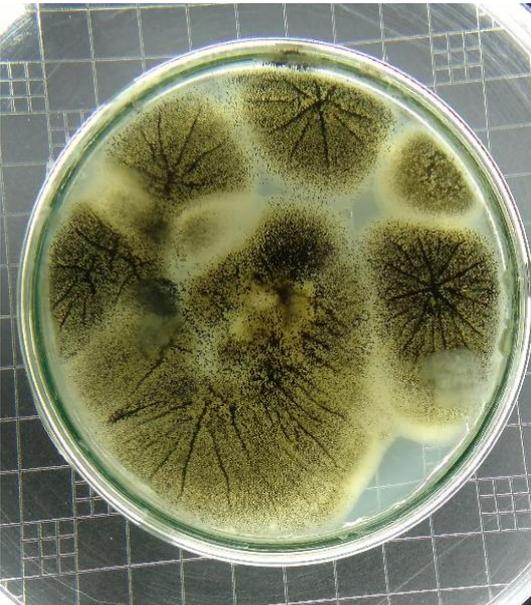


Siembra del hongo en agar PDA



Incubación del hongo en el horno

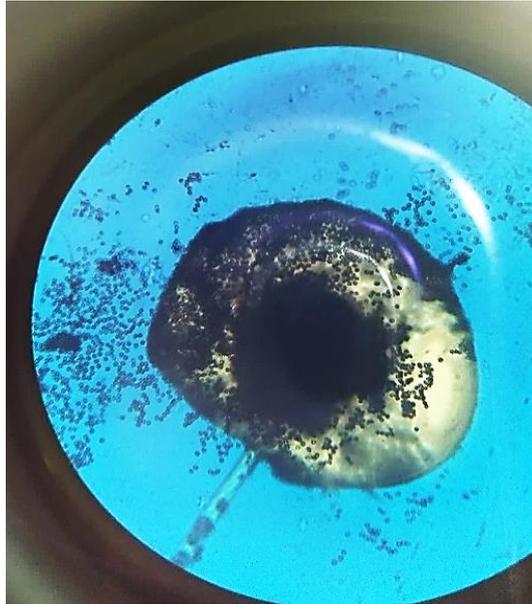
Anexo 10. Crecimiento e identificación microscópica del *Aspergillus niger*.



Crecimiento de colonias de *Aspergillus niger*



Tinción para identificación del hongo



Identificación del hongo *Aspergillus niger*

Anexo 11. Biorreactor con caldo nutritivo, y aislamiento del hongo para el proceso de biodegradación.



Biorreactor con caldo nutritivo



Hongo *Aspergillus niger* en el biorreactor

Anexo 12. Peso inicial del polietileno de baja densidad y agregado en el biorreactor.



Enumeración de las láminas



Pesado de cada lámina



Láminas en el biorreactor

Anexo 13. Peso final del polietileno de baja densidad.



Pérdida de peso de la lámina 1



Pérdida de peso de la lámina 2



Pérdida de peso de la lámina 3



Pérdida de peso de la lámina 4



Pérdida de peso de la lámina 5



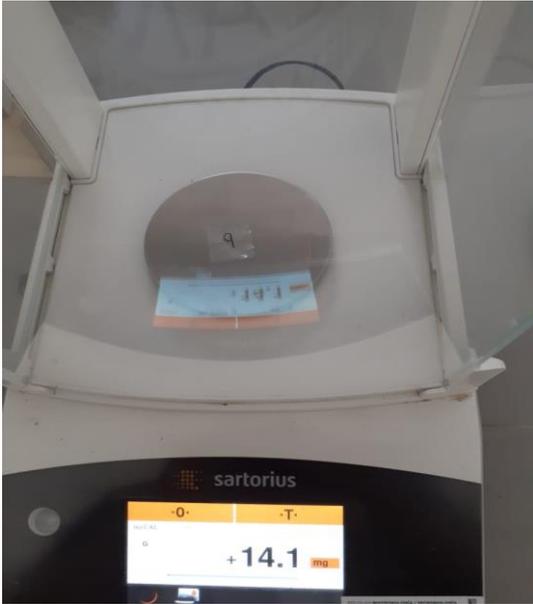
Pérdida de peso de la lámina 6



Pérdida de peso de la lámina 7



Pérdida de peso de la lámina 8



Pérdida de peso de la lámina 9



Pérdida de peso de la lámina 10