



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Biodegradación de Tereftalato de Polietileno mediante la aplicación de *Fusarium  
culmorum*, Lima – 2019

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

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Br. Balarezo Arrunátegui, Andrea Alexandra (ORCID: 0000-0001-7439-4194)

Br. Reaño Castillo, Shirley Isabel (ORCID: 0000-0002-5875-1216)

**ASESOR:**

Dr. Cabrera Carranza, Carlos Francisco (ORCID: 0000-0002-3404-412X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de Residuos

**LIMA - PERÚ**

2019

## **DEDICATORIA**

A mis padres Mónica Arrunátegui Terrones y Alejandro Hurtado Reyes, por el amor, confianza, apoyo incondicional y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. A mi abuela, Irma Rosa Terrones Incio, por su permanente apoyo y comprensión contribuyendo a lograr mis objetivos trazados, los amo infinitamente.

Andrea Alexandra Balarezo Arrunátegui

A mi padre Oscar Agapito Reaño Carrera y a mi madre Lida Haydee Castillo Córdova quienes me brindaron su apoyo y amor incondicional. A mis pequeños hermanos Iker Reaño y Ray Reaño por darme ánimos, alegría y amor en todos los momentos que lo necesitaba, los amo.

Shirley Isabel Reaño Castillo

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por guiarnos a lo largos de nuestras vidas y fortalecernos en momentos de debilidad.

A nuestros padres, por confiar en nuestra capacidad, por los valores y principios que nos han inculcado.

A nuestros hermanos, por siempre estar presentes con su apoyo moral.

A nuestros amigos, por su lealtad y sincero apoyo, por alentarnos a seguir en cada momento.

Agradecemos especialmente a la Q.F.B Rosalbina De La Cruz Dávila quien nos brindó sus conocimientos y apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

Agradecemos a nuestros asesores el Dr. Carlos Cabrera y Dr. Elmer Benites por orientarnos en la parte teórica de la investigación.

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice.....	iv
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MÉTODO.....	19
<b>2.1 Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Operacionalización de variables.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3 Población, muestra y muestreo (incluir criterios de selección).....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Procedimiento.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Método de análisis de datos.....</b>	<b>28</b>
<b>2.7 Aspectos éticos.....</b>	<b>28</b>
III. RESULTADOS.....	29
IV. DISCUSIÓN .....	43
V. CONCLUSIONES .....	44
VI. RECOMENDACIONES .....	46
REFERENCIAS .....	47
ANEXOS .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición física de los residuos sólidos urbanos, en las tres regiones del Perú	3
<b>Tabla 2.</b> Características del Tereftalato de Polietileno .....	14
<b>Tabla 3.</b> Taxonomía del hongo fusarium culmorum .....	17
<b>Tabla 4.</b> Condiciones del Fusarium culmorum.....	29
<b>Tabla 5.</b> Características de PET.....	29
<b>Tabla 6.</b> Registros de los pesos del PET.....	30
<b>Tabla 7.</b> Pesos obtenidos del PET para el tipo de siembra diluida.....	31
<b>Tabla 8.</b> Pesos obtenidos del PET para el tipo de siembra directa de la periferia .....	33
<b>Tabla 9.</b> Pesos obtenidos del PET para el tipo de siembra directa del micelio .....	35
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de biodegradación del PET .....	37
<b>Tabla 11.</b> Porcentaje de biodegradación del PET.....	39
<b>Tabla 12.</b> Prueba de normalidad .....	41
<b>Tabla 13.</b> ANOVA para el PET biodegradado .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Generación de residuos plásticos primarios, 1950 – 2015.....	1
<b>Figura 2.</b> Generación de plástico en el Perú por año, 2018.....	2
<b>Figura 3.</b> Importación de agua en el Perú.....	4
<b>Figura 4.</b> Fórmula química del PET .....	13
<b>Figura 5.</b> Reacción de la formación del PET.....	15
<b>Figura 6.</b> Diagrama de bloques de la producción del PET .....	16
<b>Figura 7.</b> Reacción de hidrólisis de tereftalato de polietileno (PET) catalizada por cutinasas .....	17
<b>Figura 8.</b> Ejemplar del hongo “Fusarium culmorum” .....	23
<b>Figura 9.</b> Materiales utilizados .....	24
<b>Figura 10.</b> Fusarium culmorum en crecimiento a) Diluido b) Periferia .....	25
<b>Figura 11.</b> Inoculación del Fusarium culmorum en contacto con el PET a) Diluido b) Periferia c) Micelio.....	26
<b>Figura 12.</b> Pesado de la muestra de PET a) Peso inicial y b) Peso final de una de las repeticiones.....	27
<b>Figura 13.</b> Observación a través del estereoscopio, a) Muestra inicial zoom 2 y b) MA zoom 3.5 .....	27
<b>Figura 14.</b> Registro de los pesos del PET.....	30
<b>Figura 15.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra DA .....	31
<b>Figura 16.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra DB .....	32
<b>Figura 17.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra DC .....	32
<b>Figura 18.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra PA.....	33
<b>Figura 19.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra PB.....	34
<b>Figura 20.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra PC.....	34
<b>Figura 21.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra MA .....	35
<b>Figura 22.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra MB.....	36
<b>Figura 23.</b> Pesos obtenidos para el PET en la muestra MC.....	36
<b>Figura 24.</b> Pesos obtenidos para el PET en las muestras DA, DB Y DC.....	37
<b>Figura 25.</b> Pesos obtenidos para el PET en las muestras PA, PB Y PC.....	38
<b>Figura 26.</b> Pesos obtenidos para el PET en las muestras MA, MB Y MC.....	38
<b>Figura 27.</b> Pesos obtenidos para el PET en las muestras DA, PA Y MA .....	39
<b>Figura 28.</b> Pesos obtenidos para el PET en las muestras DB, PB Y MB .....	40

<b>Figura 29.</b> Pesos obtenidos para el PET en las muestras DC, PC Y MC .....	40
<b>Figura 30.</b> Obtención del Fusarium culmorum.....	57
<b>Figura 31.</b> Observación del Fusarium culmorum .....	57
<b>Figura 32.</b> Esterilización de las muestras, envolviéndolas en papel craft y colocándolas en una estufa a 175°C por 1 hora.....	58
<b>Figura 33.</b> Preparación del Agar Dextrosa de Papa.....	59
<b>Figura 34.</b> Esterilización del Agar Dextrosa de Papa en la autoclave a 121°C por 15 minutos. ....	60
<b>Figura 35.</b> Vaciado del agar dextrosa de papa en las placas de Petri .....	60
<b>Figura 36.</b> Diluyendo al hongo para su reproducción .....	61
<b>Figura 37.</b> Inoculación del Fusarium culmorum .....	61
<b>Figura 38.</b> Conteo de colonias de Fusarium culmorum.....	62
<b>Figura 39.</b> Pesaje de las muestras de Tereftalato de Polietileno.....	63
<b>Figura 40.</b> Tereftalato de polietileno en contacto con Fusarium culmorum.....	63
<b>Figura 41.</b> Pesaje de las muestras del Tereftalato de Polietileno después de tiempo de contacto con el Fusarium culmorum .....	64
<b>Figura 42.</b> Visualización del Tereftalato de Polietileno en el estereoscopio después de colocarlo en contacto con el Fusarium culmorum.....	65
<b>Figura 43.</b> Visualización del tereftalato de polietileno en el estereoscopio antes y después de la exposición al Fusarium culmorum.....	66
<b>Figura 44.</b> Ficha de registro de las condiciones de Fusarium culmorum .....	67
<b>Figura 45.</b> Ficha de Registro de las características del tereftalato de polietileno.....	68
<b>Figura 46.</b> Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno.....	69
<b>Figura 47.</b> Clasificación taxonómica de Fusarium culmorum.....	70
<b>Figura 48.</b> Ficha de registro de las condiciones de Fusarium culmorum firmado por la Q. F. B.....	71
<b>Figura 49.</b> Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno firmado por la Q. F. B - Diluído .....	72
<b>Figura 50.</b> Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno firmado por la Q. F. B - Periferia .....	73
<b>Figura 51.</b> Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno firmado por la Q. F. B - Micelio.....	74

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar el porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno mediante la aplicación del hongo *Fusarium culmorum*. El tereftalato de polietileno comúnmente llamado PET es un polímero termoplástico que se produce por la polimerización del etilenglicol con el ácido tereftálico, el cual se utiliza para la producción de diversos envases principalmente de láminas, bandejas y botellas. Los residuos plásticos en la actualidad son uno de principales problemas ambientales, en especial los que demoran millones de años en degradarse, este es el caso de las botellas de plástico que se encuentran presentes en la vida diaria de todas las personas. Estos materiales han llegado a afectar a los seres vivos y alterar los diversos ecosistemas, generando una problemática mundial. Sin embargo, existen microorganismos capaces de degradar diversos polímeros en un menor tiempo, este es el caso del *Fusarium culmorum* un hongo filamentoso el cual posee enzimas que tienen la capacidad de degradar plásticos. El tipo de investigación fue aplicada y con enfoque cuantitativo. Además, se tuvo como población a los hongos de la especie *Fusarium culmorum*, y como muestra a un medio de cultivo de hongo de la misma especie. Los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron fueron: Ficha de registro de las características físicas del PET, porcentaje de biodegradación de PET y condiciones para el desarrollo del *Fusarium culmorum*. Para determinar la biodegradación se utilizó la diferencia de masas, para la cual se obtuvo que el peso final promedio fue de 93mg. Por ende, se concluyó que la aplicación del *Fusarium culmorum* biodegrada el tereftalato de polietileno con un porcentaje promedio de 7% en 32 días.

**Palabras clave:** *Fusarium culmorum*, tereftalato de polietileno (PET) y biodegradación.

## ABSTRACT

The main objective of this research work was to determine the percentage of biodegradation of polyethylene terephthalate through the application of the fungus *Fusarium culmorum*. Polyethylene terephthalate called PET is a thermoplastic polymer that is produced by the polymerization of ethylene glycol with terephthalic acid, which is used for the production of various packages of sheets, trays and bottles. Plastic waste today is one of the main environmental problems, especially those that take millions of years to degrade, this is the case of plastic bottles that are present in the daily life of all people. These materials have come to affect living beings and alter the diverse ecosystems, generating a global problem. However, there are microorganisms capable of degrading various protocols in a shorter time, this is the case of *Fusarium culmorum* a filamentous fungus which has enzymes that have the ability to degrade plastics. The type of research was applied and with a quantitative approach. In addition, it had as a population the fungi of the species *Fusarium culmorum*, and as a sample to a fungus culture medium of the same species. The data collection instruments that were used were: Record of physical characteristics of PET, percentage of biodegradation of PET and conditions for the development of *Fusarium culmorum*. To determine the biodegradation the mass difference will be seen, for which the final average weight of 93 mg will be obtained. Finally, it was concluded that the application of *Fusarium culmorum* biodegrades polyethylene terephthalate with an average percentage of 7% in 32 days.

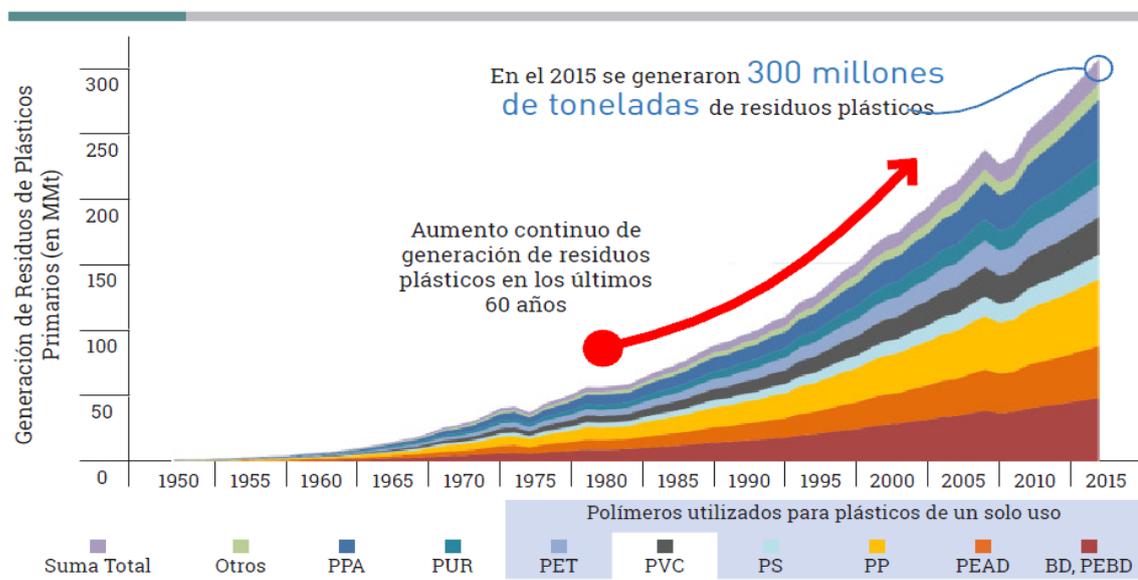
**Keywords:** *Fusarium culmorum*, polyethylene terephthalate (PET) and biodegradation.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación evalúa la **realidad problemática** que causa el plástico y se plantea una solución mediante la aplicación del hongo *fusarium culmorum*.

En la actualidad los residuos sólidos se han transformado en un problema ambiental de gran impacto, esto se debe a que la mayoría de cosas creadas es utilizada por determinado tiempo y cuando cumple su función pasa a ser un desecho más. Uno de los materiales con mayor demanda es el plástico en especial el de un solo uso, debido a que se ha vuelto normal en las vidas diarias, ya que lo encontramos en diferentes formas como, bolsas, botellas, tapers, cubiertos, platos, vasos, etc.

Su uso indiscriminado e irresponsable ha traído como consecuencia que sea casi imposible minimizarlo. De todas las cosas creadas por el hombre, la generación de plástico es la que por lejos supera a la mayoría y se mantuvo bajo control ambiental por muchos años. Pero existe falta de información de estos en especial sobre su destino final. Según GEYER, JAMBECK y LAW, 2017 al analizar e identificar datos de diferentes partes del mundo sobre la producción, uso y manejo de los diversos polímeros, fibras sintéticas y aditivos, se presentó el primer análisis global de todos los plásticos producidos en serie. Se estima que se han producido 8300 millones de toneladas métricas (Mt) de plástico virgen a nivel mundial desde 1950 hasta el 2015 (Figura 1). Cabe resaltar que los plásticos son casi indestructibles y demoran hasta 400 años en degradarse, lo que hace que sea difícil deshacerse de ellos.



**Fuente:** GIACOVELLI – Acoplado de GEYER, JAMBECK Y LAW, 2017

**Figura 1.** Generación de residuos plásticos primarios, 1950 – 2015

En esta situación, el Perú no es ajeno a la contaminación originada mediante la generación y disposición de los diferentes residuos sólidos en especial del plástico, se han incrementado los efectos del medio ambiente de forma paulatina, debido a los evidentes cambios en los hábitos del consumismo de los habitantes, el aumento económico, industrialización y el crecimiento poblacional ocurrido en las últimas décadas. Sin embargo, en el Perú las malas prácticas en los procesos de recolección de los residuos sólidos hasta su segregación como disposición, han generado que gran parte de estos termine en botaderos.

En el Perú se genera 23 mil toneladas de basura por día, de los cuales se aproxima que solo el 15% se recicla. Además de toda la cantidad generada el 10% es plástico, esto se debe a que es un material práctico y de uso diario. Se utilizan aproximadamente 30 kilos de plástico por habitante, además en un año se consumen cerca de 3 mil millones de bolsas de material plástico, por lo cual se consumen 6 mil de estas por minuto (Figura 2). Lima metropolitana y el Callao son los mayores generadores de residuos sólidos, generan 886 toneladas de plástico en un día (MINAM, 2018).



Fuente: MINAM

Figura 2. Generación de plástico en el Perú por año, 2018

De los materiales plásticos fabricados en las últimas décadas, el tereftalato de polietileno (PET) es la materia prima más utilizada en nuestra vida diaria, lo cual lo convierte en el residuo de mayor generación.

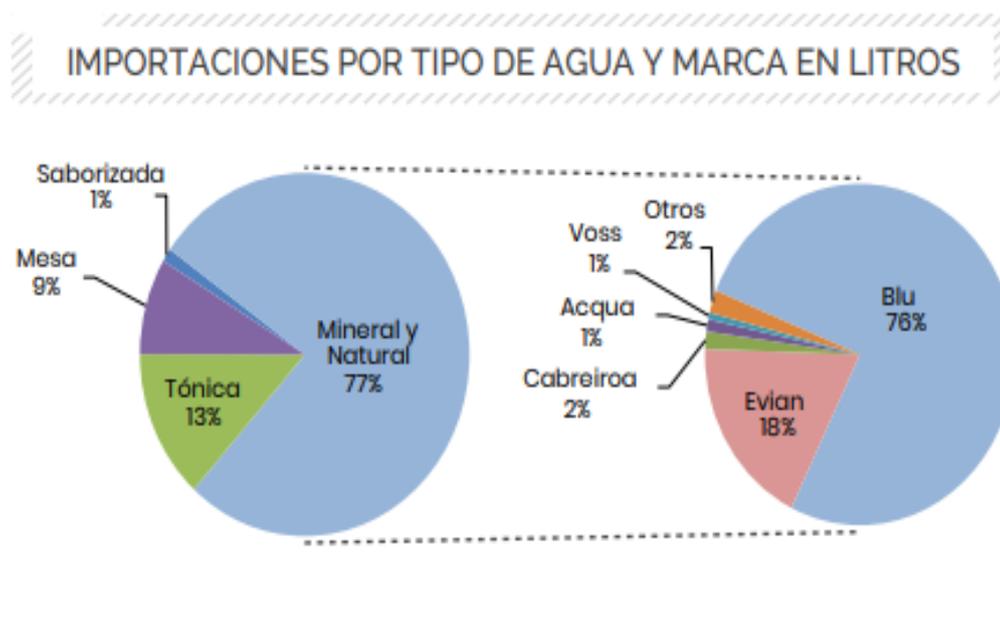
La composición del PET se basa en aire, petróleo crudo y gas. Para la fabricación de este tipo de plástico se necesita el petróleo crudo en una cantidad de 64%, un 23% de gas natural y aire en un 13%. El PET se forma a través de la combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol, los cuales se obtienen oxidando el paraxileno, este se extrae del petróleo crudo, y la oxidación del etileno, que es un derivado del gas natural, cuando entra en contacto con el aire respectivamente, esta composición química hace que su degradación sea indefinida, por lo cual permanece en el medio ambiente por muchos años (GARCÍA, 2017). Esto origina un problema ambiental directa e indirectamente, ya que altera los diversos ecosistemas y con el tiempo llega a causar daños a los seres vivientes. Según el MINAM en nuestro país es altamente consumido, y su demanda ha incrementado en los últimos años, en la tabla 1 se presenta el porcentaje anual de la composición de los residuos en las tres regiones del Perú, donde se evidencia que el PET está presente casi en la misma proporción para cada región.

**Tabla 1.** Composición física de los residuos sólidos urbanos, en las tres regiones del Perú

Tipos de residuos	Porcentaje (%)		
	Costa	Sierra	Selva
Materia orgánica	44,07	46,81	43,47
Madera follaje	2,64	2,69	2,57
Papel	3,79	4,04	3,62
Cartón	3,26	3,28	3,10
Vidrio	2,88	3,03	2,77
Plástico PET	3,15	3,27	2,93
Plástico duro	2,41	2,51	2,33
Bolsas	3,86	4,22	3,86
Tecnopor y similares	0,75	0,76	0,68
Metales	2,24	2,36	2,13
Telas, textiles	1,44	1,56	1,39
Caucho, cuero y jebe	0,99	1,08	0,98
Pilas	0,30	0,49	0,45
Restos de medicinas, focos	0,46	0,53	0,53
Residuos sanitarios	6,31	9,25	8,22
Material inerte	7,73	8,16	7,30
Otros	2,74	3,39	2,93

**Fuente:** MINAM, 2014

Por otra parte, en los últimos años existe un incremento gradual en la demanda de bebidas embotelladas, teniendo mayor aumento en su venta el agua embotellada, debido a la creciente tendencia a consumir alimentos saludables y esto ocurre con mayor énfasis en los meses de verano. Además, a nivel nacional la importación de agua embotellada se duplicó. En la temporada de verano del presente año, la importación peruana de bebidas no alcohólicas para el consumo directo ascendió a 5 millones de litros, un crecimiento del 13% con respecto a los mismos meses de 2018 (Figura 3). Esto trae como consecuencia una importante variación en la generación de residuos de PET en el Perú. Teniendo una perspectiva socio ambiental el agua importada es innecesaria, no es de primordial necesidad a excepción de casos radicales (CHÁVEZ, 2019). El incremento de esta se debe principalmente a la oferta y demanda que existe por ello. Esto hace que anualmente entre al país alrededor de 22 000 millones de litros de agua importada la cual para poder ser comercializada se envasa en botellas de plástico. Si bien los envases pueden ser reciclados se conoce que ni el 20% de estos llegan a este fin. Esto provoca un problema mayor a la sociedad y el medio ambiente debido a que esos envases están hechos a base de PET y pueden perdurar en el tiempo sin desintegrarse llegando así a los vertederos y varios cuerpos de aguas superficiales causando contaminación de los mismos (UNESCO, 2003).



**Fuente:** CHÁVEZ, 2019

**Figura 3.** Importación de agua en el Perú

En el presente trabajo de investigación se ha revisado y analizado un conjunto de **antecedentes** que tienen relación con la biodegradación del PET mediante la aplicación del hongo *Fusarium culmorum*, con la finalidad de encontrar una alternativa de solución entorno a la disminución de los residuos plásticos.

AHUACTZIN, Miriam (2017), evaluó la biodegradación de DEHF y DBF por cepas de hongos filamentosos crecidos en fermentación líquida. Para ello, se evaluó distintos parámetros de *Fusarium culmorum* y *Pleurotus ostreatus* crecidos en diferentes concentraciones (1000 y 500 mg/l de DEHF y DBF). También se empleó un modelo de química cuántica para la degradación de estos compuestos dando como resultado que *Fusarium culmorum* tiene mayor  $\mu$  (0.05 h<sup>-1</sup>) en el medio de 1000 mg/l de DEHF. En conclusión, se demostró que ambos hongos lograron remover el 90 % de ambos ftalatos a partir de 300 horas para el *Pleurotus ostreatus* y 72 horas para el *Fusarium culmorum*.

ARCINIEGA, Ilse (2008), incubó los microorganismos (elegidos de lugares donde la concentración de PET es elevada) en medios de cultivo para ser usado como sustrato fundamental el ácido tereftálico y polietilenglicol, estos medios los incubaron a temperatura ambiente agitándolos a 120 RPM. La metodología fue la técnica HPLC fue empleada para hallar la degradación de ácido tereftálico en porcentaje, también señaló que los microorganismos degradaron el precursor a pH ácido en 20 días. Por otro lado, la degradación de polietilenglicol se estableció con la Demanda Química de Oxígeno que es cerca del 90% en 21 días.

AYALA, Laura (2015), sometió las muestras de espuma de poliuretano en cuatro especies fúngicas de tipo endófitas del género *Pestalotiopsis*, recolectadas en Ecuador. Por ende, evaluó muestras del polímero por medio del microscopio electrónico de barrido y de espectrofotometría infrarroja, durante cien días a las cuatro especies fúngicas. Tuvo como resultados que las películas obtenidas con FT-IR dieron una alteración en la composición del polímero al ser asentado a los distintos hongos, reflejando un incremento en la absorbancia de los compuestos orgánicos como alcoholes, ácidos carboxílicos e isocianatos. Según las imágenes SEM mostraron variaciones en la estructura del polímero, dichas variaciones fueron registrados con FT-IR y SEM.

BARBARAN *et al.* (2018), determinó el porcentaje de biodegradación de PET por *Pseudomona aeruginosa*, Para esto, emplearon 35 gramos de tereftalato de polietileno (PET) en polvo que lo adquirieron de botellas de agua, para que luego lo apliquen en 9 tratamientos donde inocularon diferentes concentraciones de la bacteria *Pseudomona aeruginosa* de  $18 \times 10^7$  UFC,  $36 \times 10^7$  UFC y  $9 \times 10^8$  UFC que fueron tomados en diferentes tiempos de 15, 25 y 35 días, tuvieron en cuenta tres repeticiones por cada tratamiento. Finalmente, mediante el método de pérdida de masa fue el que estableció el porcentaje de biodegradación. En conclusión, determinaron que el mejor tratamiento fue la aplicación de  $9 \times 10^8$  UFC de *Pseudomona aeruginosa* degradando un 19.93% de polietileno tereftalato en 35 días.

BARJA, Carlos (2016), precisó la eficiencia del hongo *pestalotiposis spp* en la biodegradación de 3 distintos plásticos como: poliuretano, polietileno de baja densidad y poliestireno de cristal. La investigación obtuvo como resultado que las pruebas estadísticas del hongo son más eficientes en la biodegradación del poliuretano que la del polietileno de baja densidad y del poliestireno de cristal, ayudando en la biodegradación de materiales como la espuma, esponja de lava vajilla, etc, permitiendo entender la relación entre el poliestireno de cristal y el poliuretano en la eficiencia de biodegradación de estos tipos de plástico.

BRUNNER *et al.* (2018), determinó la capacidad de degradación de hongos que crean en plásticos flotantes para degradar otros plásticos. Por ello, aislaron más de cien cepas de hongos de los desechos plásticos de la costa del lago de Zúrich, Suiza, y se agruparon morfológicamente. Luego, seleccionaron cepas representativas y las identificaron genéticamente (en total doce especies de hongos diferentes y una especie de Oomycota). Las cepas fúngicas se usaron para evaluar la capacidad de degradación el polietileno y el poliuretano. Los resultados determinaron que ninguna de las cepas tiene la capacidad de degradar el polietileno. Sin embargo, cuatro cepas pudieron degradar el poliuretano, los tres hongos saprotróficos de la camada *Cladosporium cladosporioides*, *Xepiculopsis graminea* y *Penicillium griseofulvum* y el patógeno de la planta *Leptosphaeria sp.*

ESPINOZA, Luis (2018), en su investigación tuvo como objeto cuantificar y determinar el nivel de degradación en muestras de PEBD (polietileno de baja densidad) por distintas especies de hongos utilizando 6 especies tales como: *Cladosporium sp.*, *Aspergillus sp.*,

*Trichoderma harzianum*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.* y *Pleurotus ostreatus*. El cultivo con las muestras plásticas lo ejecutó en tiempo de 30, 60 y 90 días en medio mínimo mineral. Antes de que lo incube con los microorganismos, el LDPE lo sometió a un procedimiento de envejecimiento térmico. Luego, le realizó un registro de las masas iniciales y finales del plástico (antes y después del cultivo), donde observó un aumento del pesaje en las muestras debido a que residuos de hongo se adhirieron a la superficie. Lo opuesto sucedió en la muestra de LDPE sometida con *Fusarium* ya que apreció una disminución en el peso (0.99% +/- 0.11%), lo cual indica que posiblemente haya una bioasimilación del plástico.

FARRES, Amelia (2017), biodegradó poliésteres mediante la aplicación de cutinasas recombinantes de *Aspergillus nidulans*, La metodología se basó en el uso de las siguientes muestras: PBS, PCL, PES, PLLA y PET, las cuales fueron expuestas con enzima ANCUT1 y ANCUT2 para su degradación por acción de hidrólisis, después de 72 horas se obtuvieron imágenes mediante la microscopía electrónica de barrido (SEM) para comprobar su grado de degradación. En conclusión, las enzimas recombinantes que fueron sometidas a las muestras, presentan un claro desgaste y degradación mientras que las películas control que fueron sometidas a reacción con el extracto crudo de la cepa silvestre X-33 (la cual no contiene enzimas recombinantes) no presentan degradación aparente.

GÓMEZ y OLIVEROS (2016), determinó la degradación del PET mediante la aplicación de microorganismos extraídos de un botadero. Para la investigación, aisló cepas de microorganismos que fueron sacadas de rellenos sanitarios en el estado Táchira, con la finalidad de poder determinar el efecto de degradación de bacilos Gram positivos, bacilos Gram negativos, levaduras y mohos, lo inocularon por triplicado en contacto con láminas de tereftalato de polietileno (previamente pesadas) dentro de tubos ensayo con un caldo de medio mínimo mineral (MMM) y los llevaron a incubación (37°C) por 15 días. Luego de 160 días realizó la medición de pesos, para ello extrajo las láminas de PET (lo esterilizó previamente) obteniendo como resultado que las cepas que presentaron mayor degradación fueron la correspondiente a los bacilos Gram negativos (bacterias) con una pérdida de peso de 43.7 mg y 0.8 mg.

IPARRAGUIRRE y VIVANCO (2015), aisló y caracterizó hongos filamentosos (mohos) capaces de degradar tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de baja densidad (LDPE).

Para ello, recogieron 8 cepas del tereftalato de polietileno y 11 cepas del polietileno de baja densidad, obteniendo como resultado que 5 cepas de PET y 8 de LDPE eran biodegradadoras. Siendo la cepa que presentó mayor capacidad biodegradadora tanto en el PET como en el LDPE fue la de género “*mucor*”, la cual perdió 1.3% de peso en PET a 25°C y un pH de 5 y 20% LDPE a temperatura 25°C y pH entre 5-7.

MESA, Mauricio (2013), determinó la biodegradación del PET y de oxopolietileno por medio de microorganismos así que utilizó bacterias nativas de tres tipos de humus: lombriz, caballo y gallina; así como también con muestras de PET (tereftalato de polietileno) y oxopolietileno, cuyas muestras fueron trituradas hasta formar finas partículas para ser usadas como única fuente de carbono del medio de cultivo para las bacterias. El porcentaje de biodegradación se halló mediante el peso [mg] de los plásticos durante 1 mes y 5 días. En conclusión, las bacterias nativas del humus de lombriz lograron degradar 39.9% de oxopolietileno, mientras que las bacterias de humus de caballo lograron degradar 10,89% de tereftalato de polietileno.

MUÑOZ, Susan (2014), evaluó distintos polímeros sintéticos como el tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidad, polipropileno, poliuretano, poliestireno, policloruro de vinilo y acrilonitrilo butadieno estireno para su degradación, Muñoz utilizó una mezcla de *Pseudomonas aeruginosa*, *Cladosporium sp* y *Alternaria sp*. Primero, realizó 7 emulsiones: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Alternaria* + *Pseudomonas aeruginosa*, *Alternaria* + *Cladosporium*, *Cladosporium* + *Pseudomonas aeruginosa* y *Alternaria* + *Cladosporium* + *Pseudomonas aeruginosa*, luego incubó con cada uno de los polímeros, también utilizó una cámara húmeda para depositar un portaobjeto donde se colocó un número no mayor a 5 pellets con la finalidad de observar el crecimiento de las colonias. Por último, *Alternaria* + *Cladosporium* aerobiosis redujo en PET, PS, PP, HDPE, siendo el más relevante en HDPE con 0,2196 g y *Alternaria* + *Cladosporium* + *Pseudomonas aeruginosa* minimizó en PET, ABS, HDPE siendo el más notable en HDPE con 0,5166g.

NDAHEBWA *et al.* (2018), aisló e identificó bacterias y hongos con la capacidad de degradar polietileno de baja densidad (LDPE). Por ello, evaluaron inóculos fúngicos de diferentes puntos de muestreo del vertedero de Dandora. La incubación de las hojas de LDPE

lo realizó durante dieciséis semanas a 37 ° C para bacterias y 28 ° C para hongos en una incubadora con agitador. El resultado más resaltante fue la reducción de peso promedio de  $36.4 \pm 5.53\%$  atribuida a la cepa A5 de *Aspergillus oryza*. En conclusión, los géneros *Aspergillus*, *Bacillus* y *Brevibacillus* son buenos candidatos para la biodegradación de polieteno de baja densidad.

PEÑA, Carolina; BERMUDEZ, Eva; MORALES, Sara (2018), explicó el uso de las cutinasas para la biodegradación de plásticos ya que el año 2016 la producción de plástico a nivel mundial fue de 335 millones de toneladas, esto se debe muchas veces al consumo excesivo de plásticos que tiene como principal impacto ambiental, la afectación de ecosistemas en todas las partes del mundo y más aun a la deficiente forma de conservación del medio ambiente. Por otro lado, indica que la generación de residuos sólidos urbanos en la ciudad de México, durante el año 2012, fue de 10.98% del total a lo que se refiere al 4.59% millones de toneladas al año. Puesto que, se trata de una problemática ambiental se buscó alternativas para agilizar la degradación de plásticos tales como los polímeros biodegradables y el uso de enzimas, así mismo la degradación enzimática con el plástico PET ha cobrado importancia. Las cutinasas son enzimas capaces de degradar polímeros complejos tanto naturales como sintéticos.

RODRIGUEZ, Alba y RODRIGUEZ, Yuli (2015), utilizó al hongo *Pestalotiopsis microspora* para degradar los residuos plásticos de poliuretano recogidos de vertederos o depósitos. Su investigación tuvo dos fases, la primera donde caracteriza al hongo estudiado, identificando su clase, orden familia y especie. En la segunda fase describe la importancia de la utilización del hongo *Pestalotiopsis microspora* en los vertederos y depósitos, concluyendo que el hongo estudiado tiene la capacidad de degradación muy eficaz utilizando como fuente de energía al poliéster de poliuretano, más conocido como PUR, y que la enzima que produce podría ser miembro de la familia *cerina hidrolasa*. En los dos aislamientos que se realizaron, se identificaron dos enzimas producidas la E2712 A cepa y la E3317 B.

SUASNAVAS, Darwin (2017), conoció sobre la degradación química del PET mediante la investigación descriptiva para usarla como alternativa dentro de la gestión del tereftalato de polietileno. Por ello, precisó cada uno de los métodos químicos que se aplican a la despolimerización, luego explicó los parámetros de reacción más relevantes. Concluye que,

la alternativa del reciclado químico no resulta una alternativa amigable con el ambiente ya que se sigue consumiendo productos químicos tóxicos y energía, otra alternativa fue la despolimerización controlada de PET usando escisión de cadena siendo el menos dañino para el ambiente ya que disminuye la presión alta y la temperatura, además que es el más eficiente por el alcance de monómeros y oligómeros de gran peso molecular y gran rendimiento en la reacción.

URIBE *et al.* (2010), describió el aislamiento y la actividad degradadora de microorganismos sobre LDPE (polietileno de baja densidad). Primero, aisló los microorganismos de materiales de plástico, las muestras fueron filtradas y se seleccionaron en medio de sales minerales a pH 5.5 para hongos y pH 7 para bacterias. Luego se aislaron 6 cepas. Fue evidente la acción de degradación por el consorcio microbiano aislado percibiendo una disminución en el índice de carbonito que fue de 83,89 % a pH 7 y de 4,08% a un pH 5.5 y de terminaciones con dobles enlaces de 19,77% a pH 7 y 6,47% a pH 5,5. Finalmente, se estableció el porcentaje de la masa perdida por el polietileno de baja densidad sometido a cepas aisladas, notándose una reducción de 5,4 % a pH 7 y 4,8% a pH5,5.

VELASCO (2017), determinó la biodegradabilidad del polietileno de baja densidad (PBD) por medio del lepidóptero *Gallería mellonella*. Para ello utilizó las bolsas plásticas que fueron puestas en diferentes temperaturas 25 ° C y 35 ° C. Para el manejo de las muestras se trabajó con 20 bolsas plásticas, además se aplicó la técnica de observación directa junto con distintos materiales del laboratorio y registros de biodegradación para las bolsas, cuadros de identificación de la temperatura óptima para el uso del lepidóptero. Se concluyó, que el lepidóptero *Gallería mellonella* degradó las bolsas plásticas, así mismo el lepidóptero al entrar en contacto con los fotones de luz comienza a salir del capullo de seda; esto hace que pueda degradar de una manera más eficiente.

YEPES, Laura (2014), realizó una revisión sistemática acerca de la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) utilizando hongos. En su estudio, las cepas fúngicas son las que degradan el PEBD (polietileno de baja densidad) siendo la cepa principal el hongo perteneciente a la familia del género *Aspergillus* los cuales producen enzimas que logran utilizar el PEBD como fuente de energía y carbono utilizando como métodos de

degradación en cultivos puros o líquidos, en proceso de fermentación (residuos sólidos) y en el suelo. Para observar las modificaciones en la superficie y estructura del PEBD se realizó por técnicas cuantitativas y cualitativas siendo las más resaltantes la evolución de CO<sub>2</sub> (pérdida de peso del polietileno de baja densidad), e Microscopio electrónico de barrido (SEM) y la Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR).

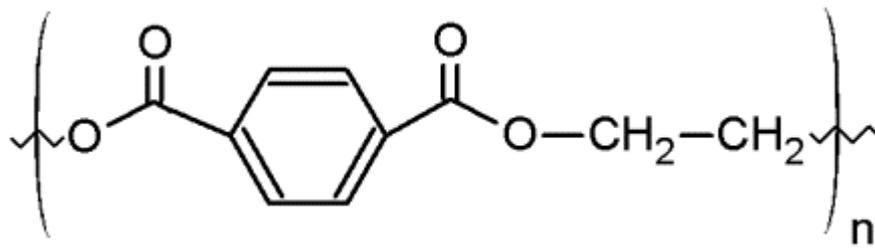
Los plásticos son polímeros formados por moléculas constituidas por cadenas de enlaces covalentes, se forman principalmente de átomos de carbono. Estos son los constituyentes fundamentales de los plásticos, además de otros materiales. Estos tienen tanto origen natural, tal como madera, seda, lana, etc. y artificial, que son macromoléculas sintetizadas por el hombre, pertenecen a la familia de los materiales plástico, gomas y elastómeros, fibras, recubrimientos superficiales y adhesivos. Además, poseen propiedades importantes como la inercia química, aislantes eléctricos, baja densidad y maleabilidad a baja temperatura. Entre los más comunes se encuentran el polietileno de alta densidad (PEAD) así como el polietileno de baja densidad (PEBD), el PVC más conocido como cloruro de polivinilo, además polipropileno y el tereftalato de polietileno más conocido como PET (HERMIDA, 2011).

Además, existen diversas maneras de clasificar a los polímeros, se pueden catalogar por su origen, o considerando la estructura de las macromoléculas y también por su uso. Según su origen pueden ser naturales o sintéticos, en el primer caso organismos vivos producen sustancias que se emplean sin modificación. Un ejemplo de estos son las telarañas creadas a partir de proteínas, en el segundo son macromoléculas que ha creado el ser humano, se pueden subdividir en dos grupos los cuales se diferencian por su forma de actuar frente al calor: *termoplásticos* y *termorrígidos*. Se diferencian porque el primero al calentarse se ablanda o funde, y es soluble con determinados disolventes, además está conformado por moléculas de cadenas largas, regularmente sin ramificaciones. Mientras los termorrígidos, al entrar en contacto con el calor se descomponen, más no se pueden fundir ni solubilizar (CHOWDHURY, 2018).

Se define al plástico según la estructura de la cadena, las macromoléculas se clasifican de la siguiente manera: lineal que tiene el mismo tipo unión el cual se repite constantemente, ramificado que es una cadena principal a la cual se le unen cadenas laterales, entrecruzado en el cual se entrelazan cadenas vecinas, homopolímero en donde todos los monómeros que lo conforman son iguales y copolímero que está conformado por 2 o más monómeros diferentes, además el plástico se clasifica según su respuesta termo – mecánica en cinco grupos de estos polímeros, los cuales son los termoplásticos, termorrígidos, elastómeros, adhesivos, recubrimiento de superficie y fibras (HERMIDA, 2011).

- Los termoplásticos a temperaturas altas mantiene sin una modificación radical la forma de sus enlaces, por ello pueden ser recalentado y enfriados o reconformados sin alterar su comportamiento, estos poseen enlaces lineales.
- Los termorrígidos que también son conocidos como termoestables, estos al pasar por la polimerización son reticulados lo cual genera que no sean reprocesados.
- Los elastómeros se clasifican a base de su conducta mecánica, esta puede variar de termoplástico a termorrígida.
- Los adhesivos poseen elevada capacidad de adhesión, pero conserva un nivel de cohesión.
- Encontramos que el recubrimiento de superficie posee un elevado aguante frente a la abrasión, son normalmente utilizados para preservar y adornar.
- Las fibras que tienden a la cristalización y se entrelazan para formar prendas dimensionales estables.

El polietileno tereftalático que es comúnmente llamado “PET”, este es un polímero termoplástico, se produce por la polimerización del etilenglicol con el ácido tereftálico, este puede ser cristalizado o amorfo depende de la capacidad de enfriamiento después de ser conformado (HERMIDA, 2011). Principalmente se diferencia por su alto grado de pureza, alta fortaleza y firmeza. Debido a su uso puede presentar diversas características y propiedades, como resistencia química y transparencia. Por otro lado, posee una elevada resistencia al calor y a temperatura ambiente no se estira ni se ve afectado por los gases atmosféricos (GARCÍA, 2017).



**Fuente: GARCÍA, 2017**

**Figura 4.** Fórmula química del PET

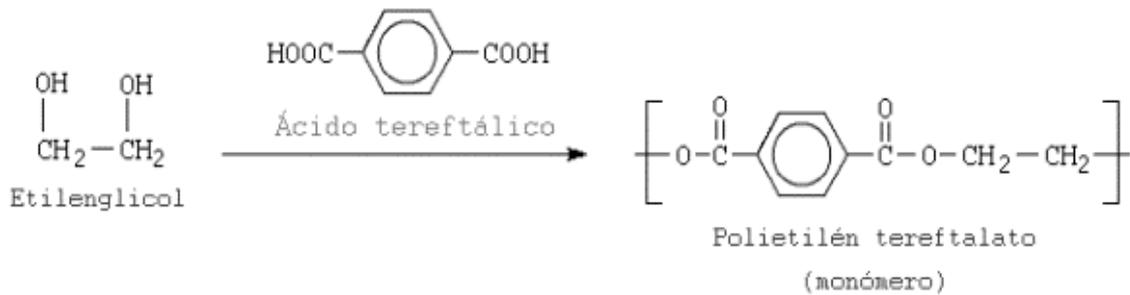
El PET (Figura 4) ha causado un impacto importante para la producción de diversos envases principalmente de láminas, bandejas y botellas, además es relevante para la producción de fibras textiles. Esto se debe a las cualidades físicas que posee y por su capacidad para realizar diferentes especificaciones técnicas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características del Tereftalato de Polietileno

FÓRMULA MOLECULAR	(C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	
PROPIEDAD	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,370 amorfo 1,455 cristalino
Presión	Mpa	55-75
Resistencia a la compresión	Mpa	76 - 128
Prueba de impacto	kJ/m <sup>2</sup>	3,6
Carga de rotura	kg/cm <sup>2</sup>	560 - 2500
Módulo de elasticidad	Mpa	2100 - 2400 amorfo 2800 - 3100 cristalino
Dilatación térmica	10 <sup>-4</sup> / °C	15,2 - 24
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3,65
Absorción de agua	ASTM	0,16
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Índice de refracción	--	1,5750
Temperatura de fusión	°C	256 - 271
Temperatura de transición vítrea	°C	70

Fuente: García, 2017

La formación del PET (Figura 5) se genera por una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol (BLAIR y QUINN, 2017).

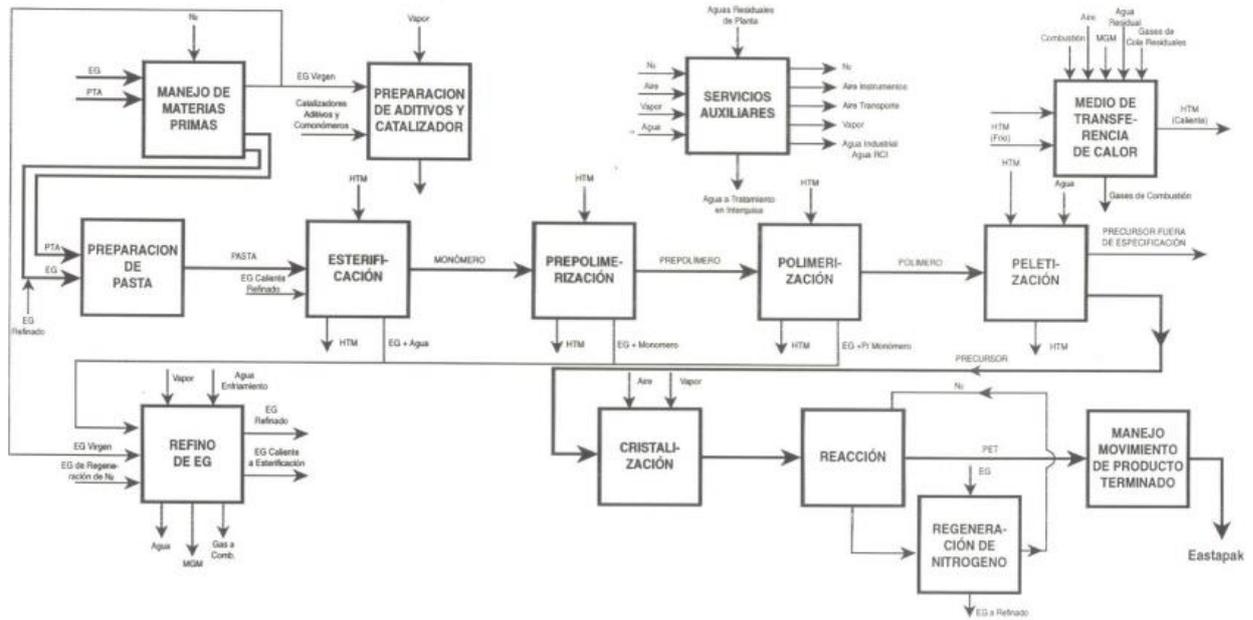


**Fuente:** BLAIR y QUINN, 2017

**Figura 5.** Reacción de la formación del PET

Se define la polimerización como un proceso químico por el cual monómeros (poseen bajo peso molecular) se entrelazan, con la finalidad de obtener un polímero (posee un gran peso molecular). Existen 2 métodos principales para obtención de polímeros, los cuales son por adicción y por condensación. El primer método se basa en la unión de un monómero con otro, obteniendo como resultado final un polímero que contiene los átomos del monómero inicial. Mientras en el segundo método no todos los átomos del monómero inicial conforman el polímero final, sino que es necesario que una parte de estos se pierda para que se puedan unir.

La producción del PET (Figura 6) para lo cual se llevan a cabo dos fases, una fase fundida y una fase sólida. La producción comienza con la introducción de una serie de materias primas, en la primera fase (fundida) se obtiene como producto una resina amorfa de PET la cual al pasar por la segunda fase (sólida) se convierte en la resina PET. Además, para la adquisición del PET se llevan a cabo una serie de reacciones después del refinamiento del petróleo se trabaja con el ácido tereftálico al cual se le añade etilenglicol y de esto se obtiene éster tereftálico más agua, luego a este se da calor y se coloca un catalizador dando como producto PET y etilenglicol (COBOS, 2016).



Fuente: COBOS, 2016

Figura 6. Diagrama de bloques de la producción del PET

Encontramos que la biodegradación se refiere a la degradación y asimilación de los polímeros por los organismos vivos principalmente microorganismos tales como hongos bacterias y actinomiceto, quienes poseen un rol importante para la descomposición de la materia orgánica, estos se encuentran repartidos en la tierra y en estados particulares que pueden agredir a los poliésteres alifáticos, como los Poliuretanos y las poliamidas (BLAIR y QUINN, 2017).

Se especifica que los hongos pertenecen al reino fungí, un reino a parte debido a que poseen cualidades únicas que los diferencian de otros seres vivos. Estos son organismos que poseen una célula eucariota, lo que quiere decir que tienen un núcleo diferenciado para el ADN. Según su tamaño pueden ser macroscópicos o microscópicos. Además, estos poseen un metabolismo heterótrofo y se pueden clasificar en unicelulares y pluricelulares (DANSO, CHOW Y STREIT, 2019).

El *Fusarium culmorum* que es un hongo filamentoso que tiene conidióforos simples, pequeños y tabicados que finalizan con varios macroconidios, que son alargados y muy estrechos, tienen curvas y con extremos afilados (de 4-6 x 40-60  $\mu\text{m}$ ), posee entre cinco a ocho septos transversales y pared fina y lisa (Maciej Buško et al. 2008)

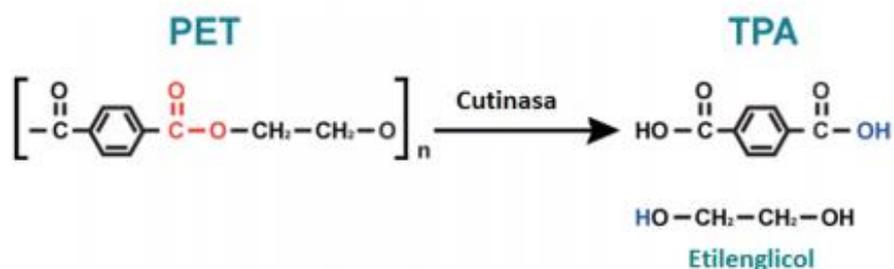
Las colonias se desarrollan rápidamente, poseen vellos, de textura algodonosas, que al inicio son blancas, y, dependiendo del medio de cultivo, poseen una pigmentación rosa en el centro que profundiza a todo el cultivo. Las pigmentaciones de las colonias poseen el centro rosa - naranja fuerte, en los bordes se puede tornar rosa pálido o blancos. El reverso suele ser de color rosa - naranja fuerte.

**Tabla 3.** Taxonomía del hongo *fusarium culmorum*

TAXONOMÍA	
Phylum	<i>Ascomycota</i>
Clase	<i>Euascmycetes</i>
Orden	<i>Hypocreales</i>
Familia	<i>Hypocreaceae</i>

**Fuente:** Elaboración propia

Las cutinasas son enzimas que tienen la capacidad de catalizar la hidrólisis del polímero lipídico cutina, el cual se encuentra presente en la cutícula de las plantas. Estas son capaces de hidrolizar ésteres solubles y triacilglicerolos, además pueden generar una reacción de síntesis inversa en medios con poca agua (Figura 7). Esto ha despertado el interés en diversos ámbitos industriales y se ha promovido su aplicación. Además, se sabe que son producidas en su gran mayoría por hongos fitopatógenos. Por otro lado, se reportado que las cutinasas poseen la capacidad de degradación de plásticos biodegradables (PEÑA et al., 2018).



\*En color rojo se muestra el enlace éster del Tereftalato de polietileno que es hidrolizado por la enzima TPA, ácido tereftálico.

**Fuente:** PEÑA et al., 2018

**Figura 7.** Reacción de hidrólisis de tereftalato de polietileno (PET) catalizada por cutinasas

El *problema general* se basa en la eficacia del *Fusarium culmorum* para biodegradar el tereftalato de polietileno (PET) por ello se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el porcentaje de biodegradación del PET mediante la aplicación de *Fusarium culmorum*, Lima - 2019? Para los problemas específicos se tiene en cuenta las condiciones térmicas para su desarrollo, así como los parámetros físico-químico necesarios para la biodegradación del PET, por lo cual se plantearon las siguientes preguntas: ¿En qué condiciones térmicas propicias la aplicación de *Fusarium culmorum* podrá biodegradar el PET, Lima - 2019? y ¿Cuáles son las características físico-químicas en las que el *Fusarium culmorum* se desarrolla para biodegradar el PET, Lima - 2019?

La **justificación de la investigación** se apoya principalmente en el problema que generan los materiales plásticos, ya que su uso indiscriminado y el largo tiempo que perduran en el medio ambiente causa diversos impactos negativos para el planeta y todos los seres vivos que la habitan. El trabajo de investigación que presentamos busca biodegradar el PET mediante la aplicación del hongo *Fusarium culmorum*, con el fin de encontrar una alternativa para disminuir los materiales plásticos. Trayendo un impacto positivo debido a que el *Fusarium culmorum* empleara como fuente de energía al PET logrando biodegradarlo en un corto tiempo, lo cual genera la mitigación de los residuos sólidos, apoyando así en la reducción del cambio climático. Por otro lado, la investigación tiene como fin dar a conocer cuáles son los parámetros físicos – químicos adecuados para el crecimiento del hongo, ya que el uso de hongos en la biodegradación de plástico, se acepta en la comunidad científica, debido a su eficacia al degradar el plástico tanto en presencia como ausencia de oxígeno, sin embargo, esto se da en un ambiente controlado (MÉNDEZ et al. 2007).

Como **objetivo de investigación** se busca determinar el porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno mediante la aplicación de *Fusarium culmorum*, además de los siguientes objetivos específicos: identificar las condiciones térmicas propicias para que la aplicación de *Fusarium culmorum* biodegrade el tereftalato de polietileno, en Lima – 2019 y describir las características físico – químicas en las que el *Fusarium culmorum* se desarrolla para biodegradar el tereftalato de polietileno, en Lima – 2019.

La **hipótesis de investigación** del presente trabajo es: la aplicación del *Fusarium culmorum* biodegrada el PET, también presenta las siguientes hipótesis específicas: bajo las condiciones térmicas adecuadas, el *Fusarium culmorum* biodegrada el PET y que en su desarrollo el

*Fusarium culmorum* presenta características físico-químicas favorables para biodegradar el PET.

## **II. MÉTODO**

### **2.1 Tipo y diseño de investigación**

#### **2.1.1 Tipo de investigación**

Basándose en Vargas (2009) que indica que la investigación aplicada, o también conocida como empírica o práctica, se interpreta por el empleo o uso de la experiencia que son los conocimientos previos, además de la adquisición de nuevos conocimientos en el momento, debido a la aplicación de estos resultados y conocimientos obtenidos por la investigación se obtiene una forma sistematizada, rigurosa y organizada de conocer la realidad y resolver problemas en esta. El tipo de investigación del presente trabajo es aplicada y con enfoque cuantitativo, ya que se utilizaron los conocimientos previos y se llevó a cabo a través de pasos detallados, en serie y de forma probatoria, de los cuales se obtuvieron resultados que se analizaron mediante métodos estadísticos y se contrastaron con las hipótesis planteadas.

#### **2.1.2 Diseño de investigación**

Hernández (2014) describe al diseño experimental como un experimento más armónico en un sentido científico donde se operan a conveniencia todas las variables independientes, así que el diseño de la investigación es experimental, en el cual se manipuló a conveniencia la variable independiente de tal manera que se logró obtener una alteración positiva sobre la variable dependiente, es decir, el *Fusarium culmorum* fue manipulado para que tenga las condiciones propicias y pueda degradar el tereftalato de polietileno.

#### **2.1.3 Nivel de investigación**

Para Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014) un estudio explicativo es aquel que responde las causas de los eventos físicos o sociales, busca explicar porque ocurre un fenómeno y las condiciones en las que se da y a su vez da un sentido de entendimiento del fenómeno al que se refiere. Teniendo en cuenta esta definición se puede decir que la presente investigación es explicativa ya que se demostró la capacidad del *Fusarium culmorum* en la biodegradación del plástico.

## 2.2 Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>INDEPENDIENTE</b> <i>Fusarium culmorum</i>	Hongo filamentoso que presenta conidióforos simples, cortos, tabicados que terminan con varios macroconidios, alargados y estrechos, curvados y con extremos afilados (de 4-6 x 40-60 µm), con cinco a ocho septos transversales y pared fina y lisa (W.G. Smith)	Para el crecimiento y desarrollo del <i>Fusarium Culmorum</i> se realizaron pruebas de laboratorio, donde se determinaron las condiciones térmicas y las características físico – químicas tales como: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y concentración.	Condiciones térmicas para su desarrollo	Temperatura	°C
			Características físico-químicas para su desarrollo	Potencial de hidrogeno (pH)	-
				Conductividad eléctrica	S/m
				Concentración	(UFC/ml)
<b>DEPENDIENTE</b> Biodegradación de Tereftalato de Polietileno	La biodegradación del plástico es el proceso por el cual bacterias, hongos, levaduras, gusanos y/o insectos descomponen o degradan a algunos compuestos orgánicos a compuestos simples. (Plastivida, 1998)	Para determinar la biodegradación del tereftalato de polietileno se midió mediante las propiedades físicas, donde se llevó a cabo una valoración gravimétrica, tomando en cuenta la masa, el área y el color.	Porcentaje de biodegradación	Peso Inicial - Final	mg
			Características Físicos	Masa	mg
				Área	cm <sup>2</sup>
				Color	observación

### **2.3 Población, muestra y muestreo (incluir criterios de selección)**

Para Sampieri (2006), la **población** es un conjunto finito o infinito de elementos con características similares. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. Así que, en el presente trabajo de investigación se maneja como población a los hongos de la especie *Fusarium culmorum*.

Hernández Sampieri (2017) afirma que la **muestra** es un subgrupo de elementos pertenecientes a un conjunto definido por sus características. Entonces, en el presente trabajo de investigación la muestra es un medio de cultivo de hongo de la especie *Fusarium culmorum*.

### **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

La **técnica** que se utilizó para el presente trabajo de investigación es la observación directa, aquella situación de observación en la cual apelamos directamente a nuestros sentidos como instrumento de registro de información, además para mayor exactitud se utilizan determinados instrumentos de medición que da el sistema universal de medida.

Los **instrumentos de recolección de datos** para determinar la biodegradación de tereftalato de polietileno mediante la aplicación de *Fusarium culmorum* son:

- **Ficha de registro de las características físicas del tereftalato de polietileno.**

Este instrumento sirve para identificar los parámetros físicos del tereftalato de polietileno, por ejemplo: masa, área y color.

- **Ficha de registro del porcentaje de biodegradación de tereftalato de polietileno**

Esta ficha se aplica para determinar la diferencia de pesos que se da a través de la biodegradación del PET para ello se anota el código, la fecha, el peso inicial y final del plástico; y por último se procede a obtener el porcentaje de biodegradación.

- **Ficha de registro de las condiciones de *Fusarium culmorum***

Este instrumento se aplica para identificar las condiciones óptimas para que *Fusarium culmorum* se reproduzca y biodegrade el Tereftalato de Polietileno tales como: temperatura, pH y conductividad eléctrica.

La **validez** de los instrumentos para la presente investigación se dio por la técnica del juicio de expertos, para lo cual se presenta una hoja de validación por cada instrumento realizado, cabe resaltar que cada instrumento se validó por 3 expertos colegiados y con experiencia mínima de 5 años.

Para la **confiabilidad** de los 3 instrumentos de recolección de datos que se utilizan en la presente investigación, fue necesario el análisis de 3 expertos colegiados de la escuela académica profesional de Ingeniería Ambiental. Se obtuvo un porcentaje promedio de confiabilidad de 85%.

## **2.5 Procedimiento**

Para lograr la degradación del PET mediante la utilización del hongo "*Fusarium culmorum*" se realizó un proceso experimental que constó de tres etapas:

### **1. Obtención del organismo de estudio (Hongo "*Fusarium culmorum*")**

Para la obtención del hongo "*Fusarium culmorum*" se tuvo que aislar, caracterizar e incubar este ejemplar, esto tomo un periodo de 30 días calendario. Esta especie se aisló desde una planta de arroz que se encontraba con presencia de plaga (Figura 8). Para corroborar que era el hongo requerido fue necesaria la ayuda de un experto en el campo de biología, quien constató con un documento firmado que efectivamente era el hongo "*Fusarium culmorum*" (Anexo 4)



**Fuente:** Elaboración propia

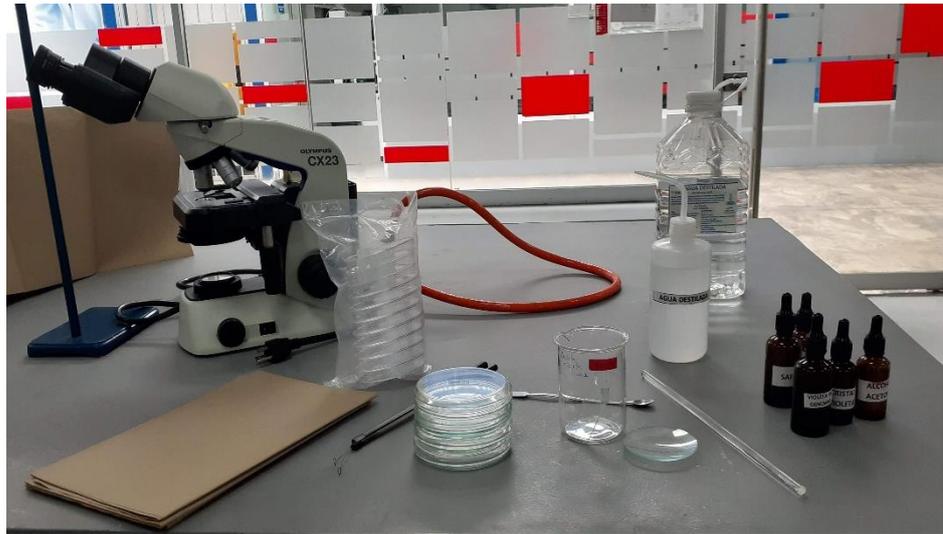
**Figura 8.** Ejemplar del hongo “*Fusarium culmorum*”

## **2. Preparación de medios de cultivo e inoculación del organismo de estudio (Hongo “*Fusarium culmorum*”)**

Una vez obtenido el ejemplar de *Fusarium culmorum* se procedió a su reproducción y posterior inoculación con el PET, por ello se dividió en dos fases la primera donde se reprodujo al *Fusarium culmorum* y se determinó las condiciones óptimas para su desarrollo y la segunda donde se inoculó las muestras elegidas con el PET.

Para la primera fase se preparó el medio de cultivo (agar dextrosa de papa) que es el medio para el desarrollo de hongos, se pesó 39 g de dicho agar y se disolvió en 1 litro de agua destilada. Luego se calentó agitando constantemente hasta llegar al punto de ebullición. Posteriormente se llevó a la autoclave a 121°C por 15 minutos, con la finalidad de esterilizarlo.

Todos los materiales que se utilizaron (Figura 9), fueron esterilizados envolviéndolos en papel craft y colocándolos en la estufa a 175 °C por 1 hora.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 9.** Materiales utilizados

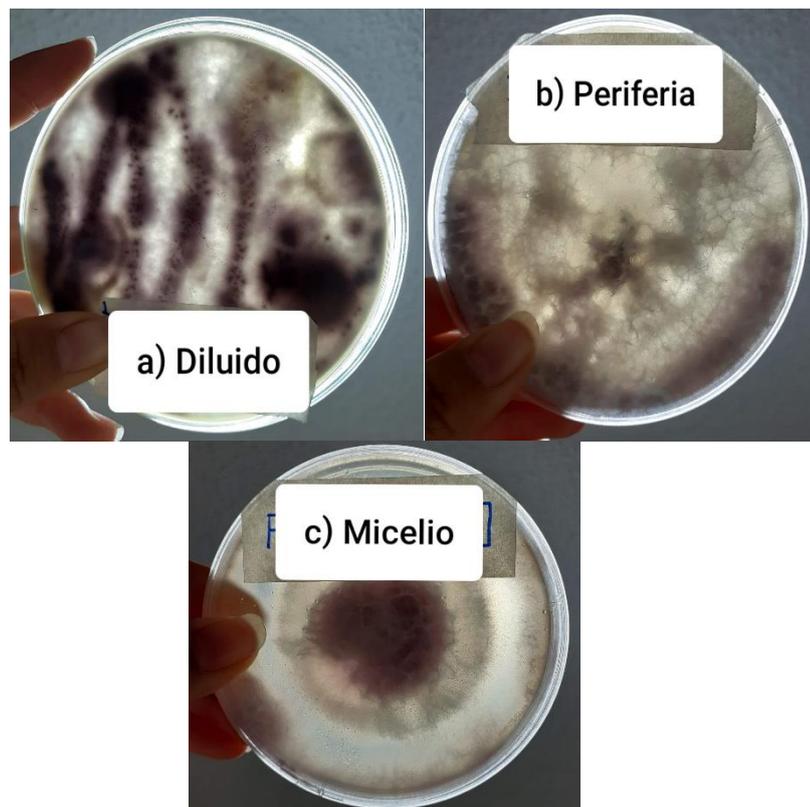
Al cabo de un tiempo, se retiró el agar dextrosa de papa del autoclave y se dejó enfriar por unos minutos. Luego se colocó el agar en las placas de Petri y se dejó reposar entre 10 a 15 minutos hasta que se enfrió y se tornó sólido.

Para el proceso de inoculación se usaron 3 diferentes procedimientos de siembra, en el primero se diluyó 1 g de *Fusarium culmorum* en 100 ml de agua destilada, para esto, se esterilizó el asa de siembra colocándola sobre un mechero, luego se extrajo 1 g del hongo y se introdujo en el vaso de precipitado que contenía 100 ml de agua destilada, moviendo constantemente para su disolución. Por último, se inocularon las placas de Petri, pasando ligeramente en zip zap el asa de siembra sobre el medio de cultivo.

Para el segundo y el tercer procedimiento, se inició esterilizando el asa de siembra sobre un mechero, luego se introdujo en agua destilada y rápidamente, se procedió a abrir la placa de Petri que contenía al *Fusarium culmorum* para cortar pequeños fragmentos de micelio y periferia respectivamente. Después, se tomó las placas a inocular para depositar

dichas muestras en la parte central del agar y finalmente se cerraron las placas de Petri y se colocaron de forma invertida.

Por último, se llevaron a la incubadora en diferentes temperaturas, para ello se separó en 3 grupos escogiendo una de cada procedimiento (diluido, micelio y periferia), las temperaturas fueron de 18°C, 21°C y 25°C. En esta parte se determinó cuáles eran las características en las que se desarrollaba con mayor eficiencia el *Fusarium culmorum* (Figura 10).



**Fuente:** Elaboración propia

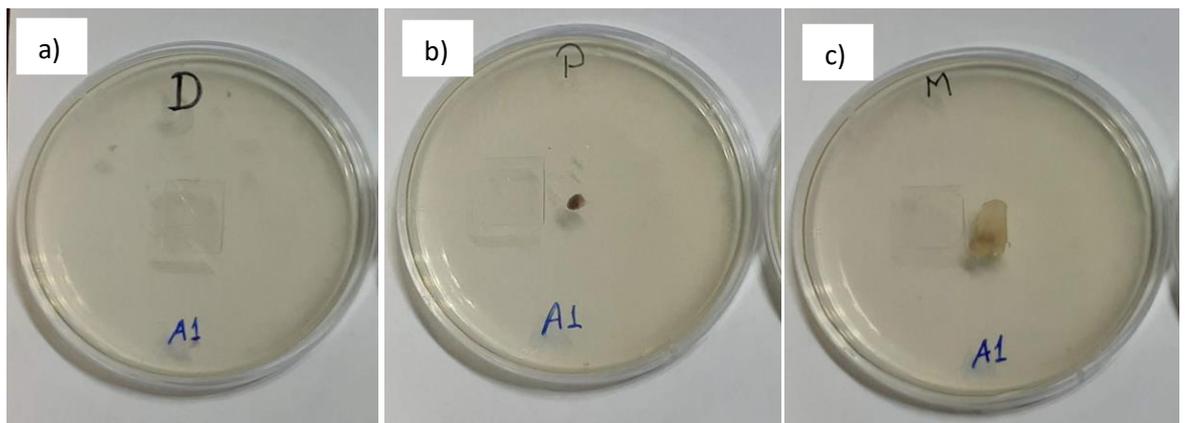
**Figura 10.** *Fusarium culmorum* en crecimiento a) Diluido b) Periferia  
c) micelio

En la segunda fase se procedió a inocular el PET con los 3 grupos muestrales que presentaron un crecimiento más eficaz y de esto se realizó 3 repeticiones, cada una contenían de 100 mg de PET y 20 ml de agar dextrosa de papa.

Para ello, lo primero fue cortar trozos de botellas de plástico (PET) la cuales fueron en su totalidad esterilizadas, y pesadas en una balanza analítica (100mg).

Luego para la inoculación del *Fusarium Culmorum*, se utilizaron placas de Petri, las cuales se esterilizaron cubriéndolas con papel craft e introduciéndolas a una estufa a una temperatura de 175 C° por 1 hora.

Después de esterilizar las placas de Petri, se procedió a llenar cada una de ellas con 20 ml de agar dextrosa de papa para su posterior inoculación con el *Fusarium culmorum* y poner en contacto con el PET (Figura 11).

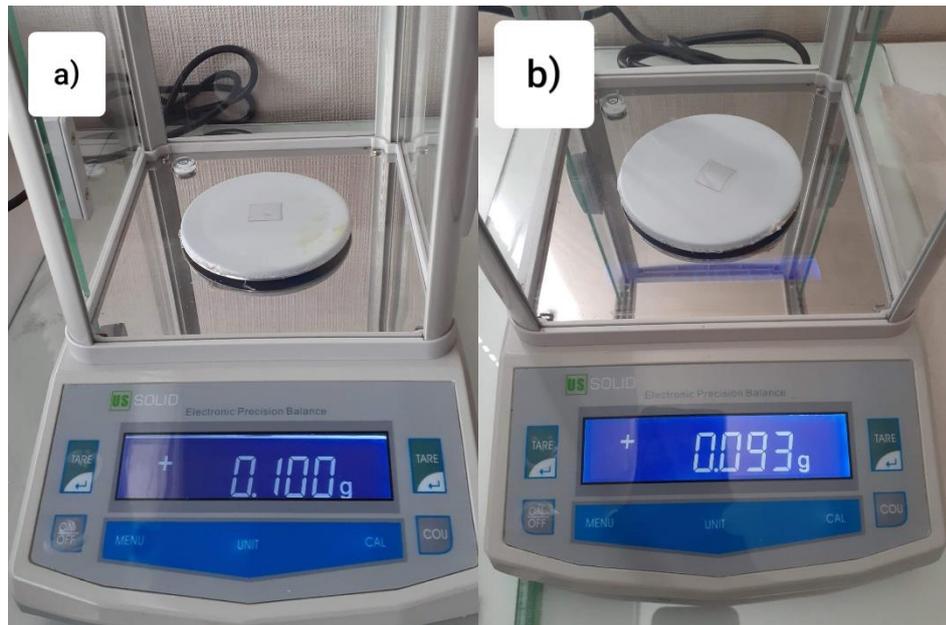


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 11.** Inoculación del *Fusarium culmorum* en contacto con el PET  
a) Diluido b) Periferia c) Micelio

### 3. Pesaje y observación por el estereoscopio de las muestras inoculadas con el organismo de estudio (Hongo “*Fusarium culmorum*”) en contacto con el PET

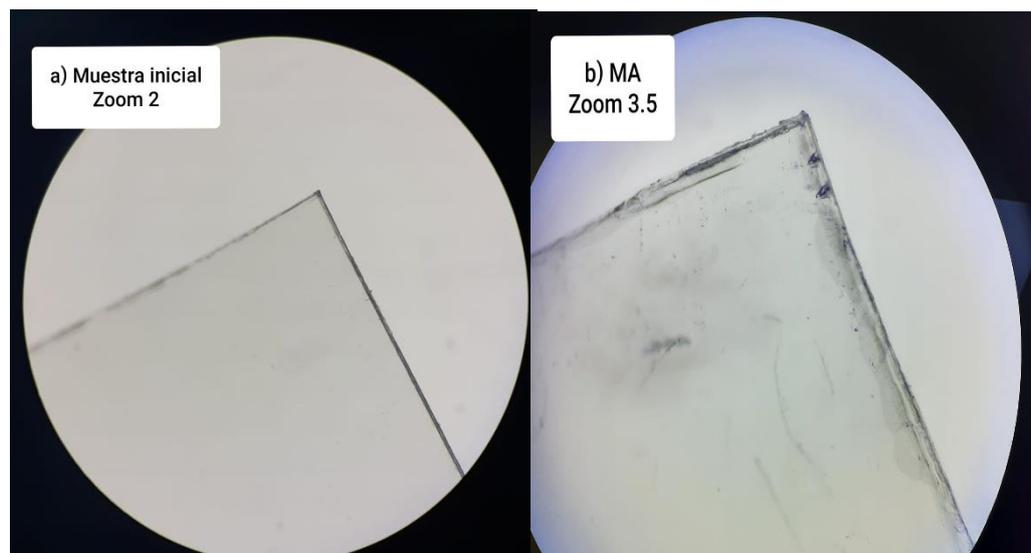
Para determinar la biodegradación del PET por medio del *Fusarium culmorum*, se realizó una diferencia entre los pesos de cada uno de los grupos para luego hallar el porcentaje de biodegradación, dicho proceso se ejecutó en un plazo de 32 días calendario. Se efectuó un pesaje cada 4 días después del periodo de incubación, teniendo 8 pesos para cada repetición (Figura 12).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 12.** Pesado de la muestra de PET a) Peso inicial y b) Peso final de una de las repeticiones

Además, también se observó a través del estereoscopio con la finalidad de apreciar mejor la biodegradación causada por el *Fusarium culmorum* (Figura 13).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 13.** Observación a través del estereoscopio, a) Muestra inicial zoom 2 y b) MA zoom 3.5

## **2.6 Método de análisis de datos**

Los datos obtenidos en el trabajo de investigación, resultado de los análisis en el laboratorio de la Universidad César Vallejo, fueron procesados y evaluados por Microsoft Excel 2019 y el software SPSS.

## **2.7 Aspectos éticos**

Los aspectos éticos que se enmarcan en nuestra investigación son el compromiso, respeto, transparencia y responsabilidad.

La presente investigación se sometió al software TURNITIN con la finalidad de verificar la originalidad de la investigación. También, se rige a los lineamientos de la Resolución Rectoral N° 0089-2019-UCV, el código de ética y reglamento interno de la Universidad César Vallejo.

### III.RESULTADOS

#### Condiciones para el desarrollo del *Fusarium culmorum*

El *Fusarium culmorum* normalmente se desarrolla a bajas temperaturas, alta humedad y un pH bajo, para ello se hizo un pre análisis en el que se determinó las condiciones adecuadas para el desarrollo de este hongo presentándose los datos en la Tabla 4:

**Tabla 4.** Condiciones del *Fusarium culmorum*

Condiciones del <i>Fusarium culmorum</i>					
N° de repeticiones	Tipo de sembrado	Parámetros físico - químicos			Condiciones térmicas
		Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (S/m)	Cantidad de colonias (UFC/ml)	Temperatura °C
1	Diluido	5,32	48,3	1,4 x 10 <sup>-2</sup>	18
2	Periferia	5,32	48,3	2,1 x 10 <sup>-2</sup>	
3	Micelio	5,32	48,3	3,5 x 10 <sup>-2</sup>	
4	Diluido	5,26	53,4	2,3 x 10 <sup>-2</sup>	21
5	Periferia	5,26	53,4	3,1 x 10 <sup>-2</sup>	
6	Micelio	5,26	53,4	4,3 x 10 <sup>-2</sup>	
7	Diluido	5,24	67	6,8 x 10 <sup>-2</sup>	25
8	Periferia	5,24	67	7,2 x 10 <sup>-2</sup>	
9	Micelio	5,24	67	7,8 x 10 <sup>-2</sup>	

**Fuente:** Elaboración propia

Se obtuvo como resultado que el *Fusarium culmorum* presentó mayor eficacia en su desarrollo a un pH ácido de 5,24; una conductividad eléctrica de 67 (S/m) y una temperatura de 25°C. Esto se determinó por la cantidad de colonias que presentaban, ya que a mayor número de colonias existe una mayor concentración del hongo.

#### Características del tereftalato de polietileno (PET)

El PET fue obtenido de botellas de gaseosa, previamente se lavó y se procedió a cortar en trozos cuadrados de 1,5 cm<sup>2</sup> para luego esterilizarlo en baño maría, en la Tabla 5 se puede observar los parámetros físicos del PET:

**Tabla 5.** Características de PET

Características del Tereftalato de Polietileno (PET)		
Parámetros físicos		
Masa	Área	Color
100 mg	1,5 cm <sup>2</sup>	Transparente

**Fuente:** Elaboración propia

## Registro de la disminución de peso del tereftalato de polietileno (PET)

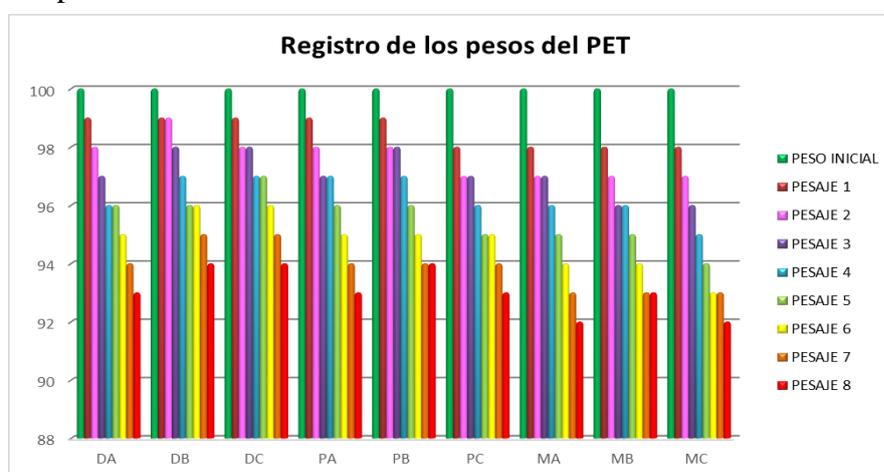
El PET fue colocado en contacto con el hongo *Fusarium culmorum* durante 32 días, para determinar el avance progresivo de la biodegradación del PET se pesó cada 4 días posteriores a los 12 días de incubación, teniendo un total de 8 pesos diferentes al peso inicial. Además, cabe resaltar que se utilizaron 3 repeticiones de cada tipo de siembra (diluido, periferia y micelio) a la condición más eficaz para el desarrollo del *Fusarium culmorum*. En la Tabla 6 se presenta los 8 pesos y el peso inicial, con su respectivo código, la primera letra indica el tipo de siembra y la segunda es para mantener un orden:

**Tabla 6.** Registros de los pesos del PET

REGISTRO DE LOS PESOS DEL PET									
Código	DA	DB	DC	PA	PB	PC	MA	MB	MC
PESO INICIAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PESAJE 1	99	99	99	99	99	98	98	98	98
PESAJE 2	98	99	98	98	98	97	97	97	97
PESAJE 3	97	98	98	97	98	97	97	96	96
PESAJE 4	96	97	97	97	97	96	96	96	95
PESAJE 5	96	96	97	96	96	95	95	95	94
PESAJE 6	95	96	96	95	95	95	94	94	93
PESAJE 7	94	95	95	94	94	94	93	93	93
PESAJE 8	93	94	94	93	94	93	92	93	92

**Fuente:** Elaboración propia

Además, también se realizó un diagrama de barras (Figura 14) para poder observar mejor como fue disminuyendo el peso del PET colocado en contacto con el hongo, de acuerdo a las veces que se pesó:



**Figura 14.** Registro de los pesos del PET

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de la Tabla 6 y la figura 14 se puede determinar que existe una disminución en el peso del PET, el peso inicial para todas las muestras fue de 100 mg y se puede observar la disminución progresiva de este hasta llegar a pesar 94 mg, 93 mg y 92 mg, siendo la máxima disminución de peso de 92 mg, dando así una pérdida de 8 mg de PET en un periodo de 32 días. Lo cual significa que en 32 días se biodegradó el PET en un 8%.

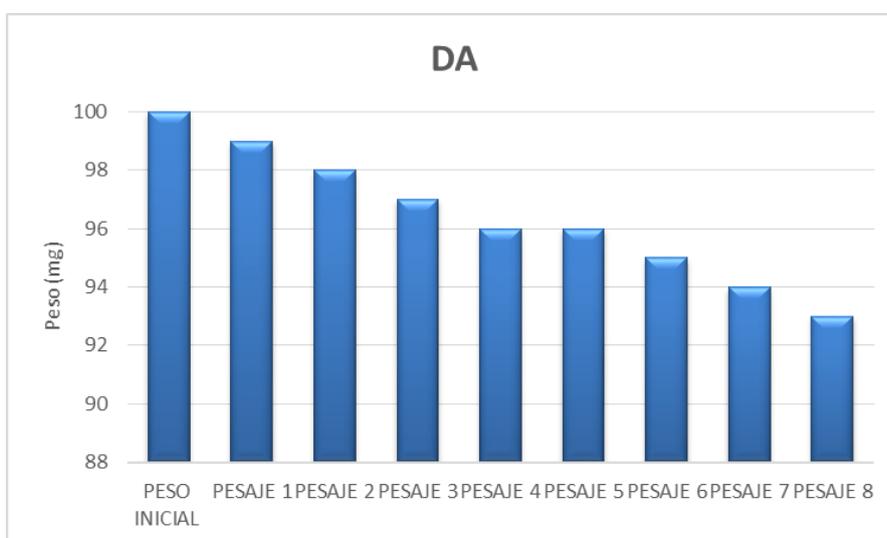
Para un mejor análisis de los datos obtenidos se determinó la biodegradación del PET para cada muestra y tipo de siembra. En la Tabla 7 se observan los datos para el tipo de siembra diluida:

**Tabla 7.** Pesos obtenidos del PET para el tipo de siembra diluida

	DA	DB	DC
PESO INICIAL	100 mg	100 mg	100 mg
PESAJE 1	99 mg	99 mg	99 mg
PESAJE 2	98 mg	99 mg	98 mg
PESAJE 3	97 mg	98 mg	98 mg
PESAJE 4	96 mg	97 mg	97 mg
PESAJE 5	96 mg	96 mg	97 mg
PESAJE 6	95 mg	96 mg	96 mg
PESAJE 7	94 mg	95 mg	95 mg
PESAJE 8	93 mg	94 mg	94 mg

**Fuente:** Elaboración propia

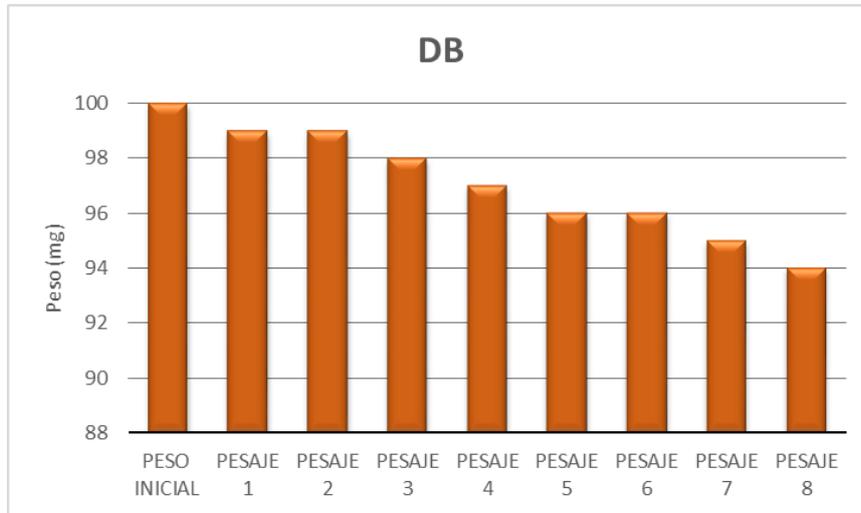
De los pesos obtenidos el menor es de 93 mg siendo el más eficaz el DA, sin embargo, no existe demasiada diferencia entre la otra muestra.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 15.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra DA

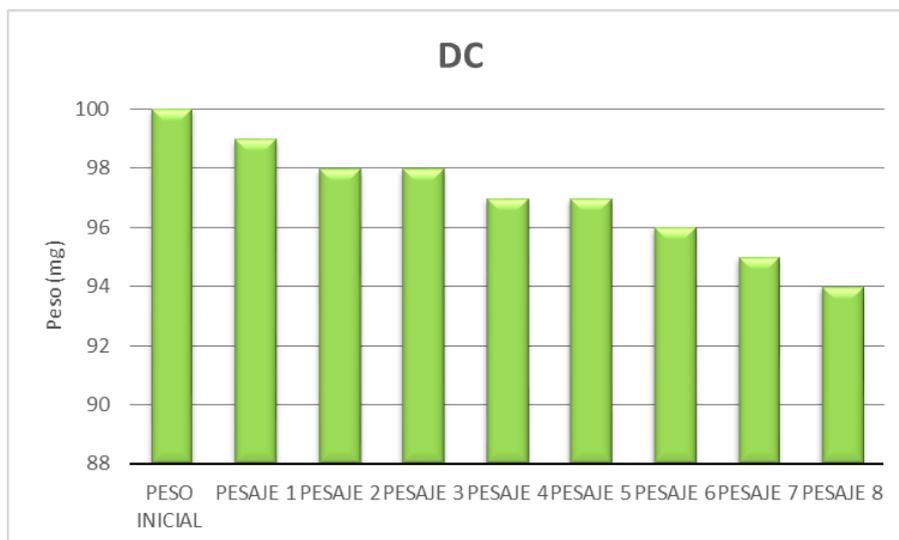
En el gráfico de barras (Figura 15) se puede observar mejor como fue la disminución de los pesos para muestra DA fue una disminución constante, sin embargo, en determinado tiempo se mantiene. Esta tuvo una disminución de 7 mg en 32 días, siendo un porcentaje de 7% de biodegradación de PET.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 16.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra DB

En el caso de muestra DB se puede observar que al inicio y por la mitad los pesos no varían, pero sigue existiendo una disminución paulatina del PET. Para esta muestra es de 6 mg en 32 días, siendo un porcentaje de 6% de biodegradación de PET (Figura 16).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 17.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra DC

Y por último en la muestra DC se puede ver una disminución más lenta pero constante, siendo la disminución de 6 mg en 32 días, lo que significa un porcentaje de 6% de biodegradación del PET (Figura 17).

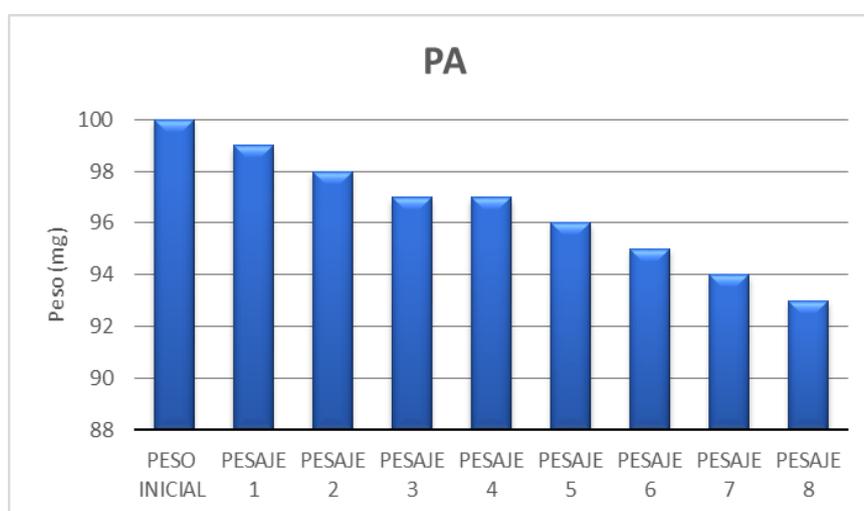
Siguiendo con los resultados obtenidos, se presenta la Tabla 8 de pesos del PET en el tipo de siembra directa de la periferia:

**Tabla 8.** Pesos obtenidos del PET para el tipo de siembra directa de la periferia

	PA	PB	PC
PESO INICIAL	100 mg	100 mg	100 mg
PESAJE 1	99 mg	99 mg	98 mg
PESAJE 2	98 mg	98 mg	97 mg
PESAJE 3	97 mg	98 mg	97 mg
PESAJE 4	97 mg	97 mg	96 mg
PESAJE 5	96 mg	96 mg	95 mg
PESAJE 6	95 mg	95 mg	95 mg
PESAJE 7	94 mg	94 mg	94 mg
PESAJE 8	93 mg	94 mg	93 mg

**Fuente:** Elaboración propia

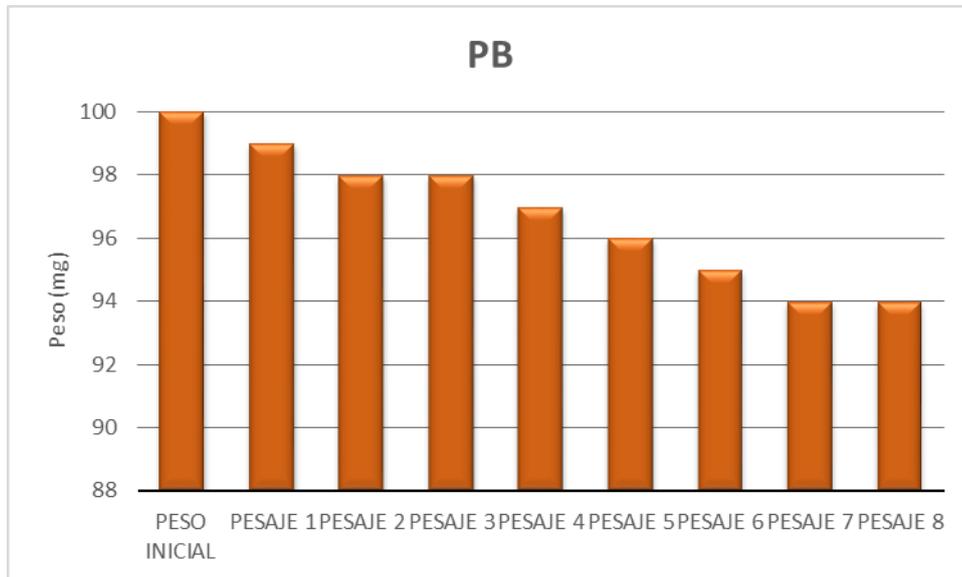
De acuerdo a la Tabla 8 se precisó que produce una mayor disminución del peso que en el anterior, ya que se presentan dos resultados con una disminución de 93 mg, es decir que la diferencia de pesos es de 7 mg. Obteniendo un porcentaje de 7% de biodegradación del PET para dos muestras de este tipo de siembra. En el siguiente gráfico de barras (Figura 18) se podrá observar la disminución de cada muestra



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 18.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra PA

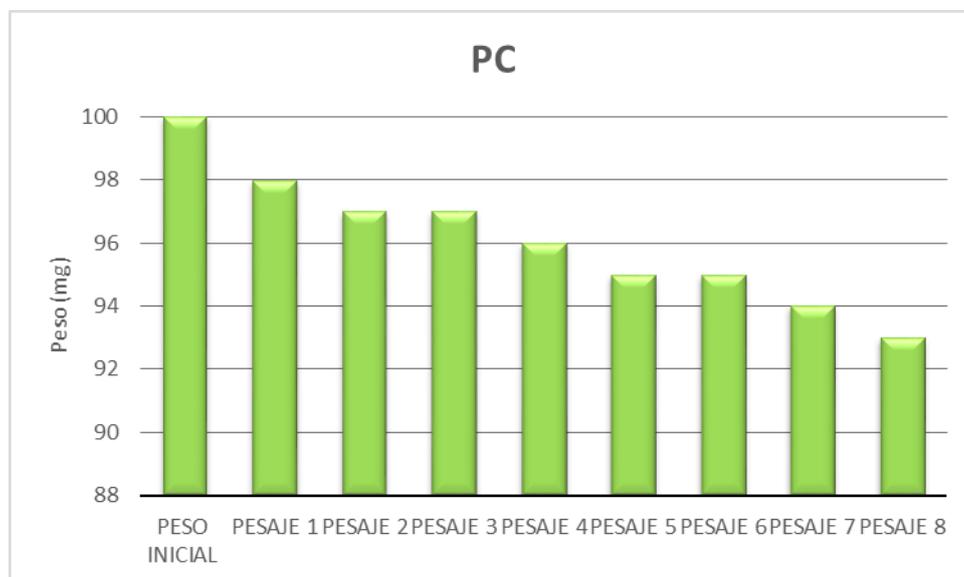
La muestra PA es una de las dos muestras que presento mayor disminución para este tipo de siembra, esta fue de 7 mg en 32 días. Siendo el porcentaje de biodegradación del PET de 7% (Figura 18).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 19.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra PB

En la muestra PB se presentó una menor disminución del peso, pero la diferencia no es muy grande. En esta muestra la diferencia de pesos entre el inicial y el final es de 6 mg en 32 días. Obteniendo un porcentaje de biodegradación del PET de 6% (Figura 19).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 20.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra PC

Para la última muestra de este tipo de siembra se obtuvo la misma disminución que la primera, siento la diferencia de pesos de 7 mg en 32 días. Lo cual nos da un porcentaje de biodegradación del PET de 7% (Figura 20).

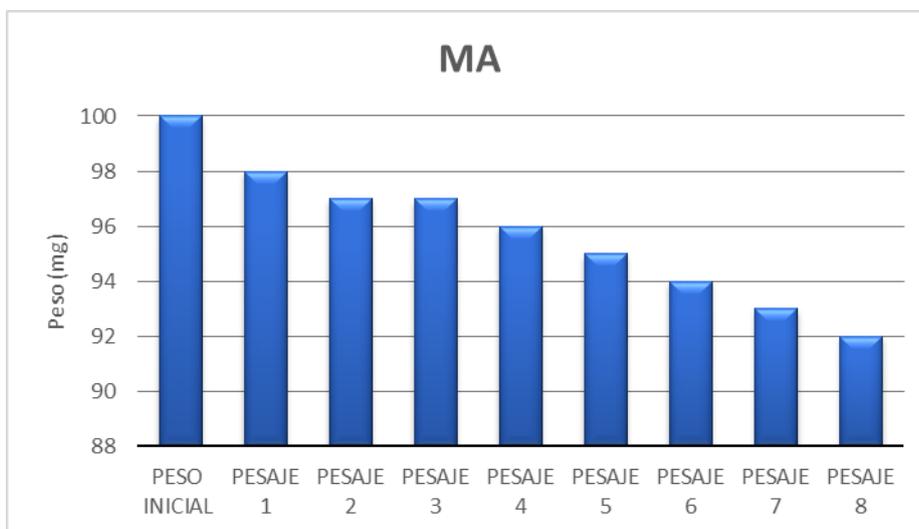
Por último, los resultados entorno a la disminución del peso del PET que se presentan a continuación son del tipo de siembra directa del micelio (Tabla 9):

**Tabla 9.** Pesos obtenidos del PET para el tipo de siembra directa del micelio

	MA	MB	MC
PESO INICIAL	100 mg	100 mg	100 mg
PESAJE 1	98 mg	98 mg	98 mg
PESAJE 2	97 mg	97 mg	97 mg
PESAJE 3	97 mg	96 mg	96 mg
PESAJE 4	96 mg	96 mg	95 mg
PESAJE 5	95 mg	95 mg	94 mg
PESAJE 6	94 mg	94 mg	93 mg
PESAJE 7	93 mg	93 mg	93 mg
PESAJE 8	92 mg	93 mg	92 mg

**Fuente:** Elaboración propia

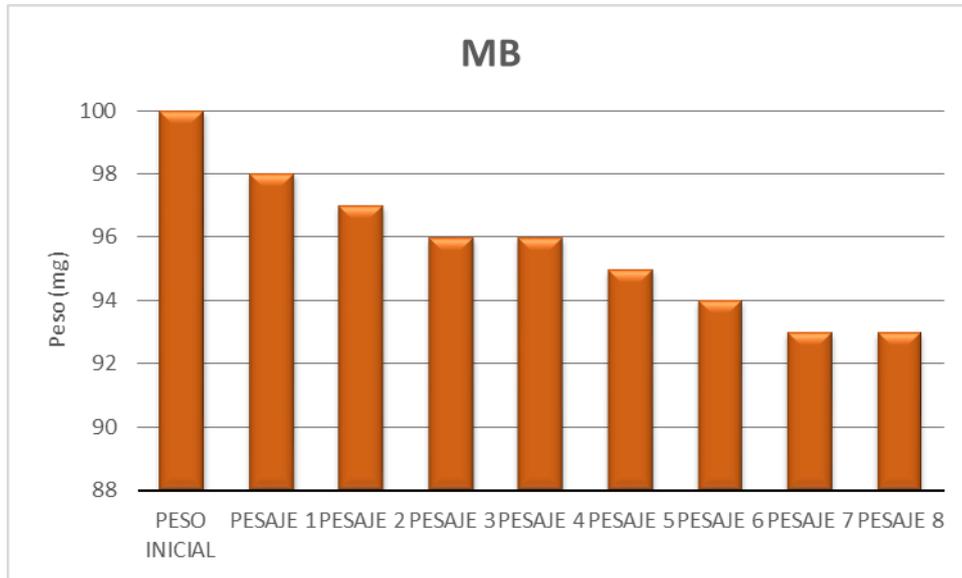
Para la Tabla 9 se puede determinar que alcanzó una mayor disminución de peso, ya que el peso final para muestra MA y MC es de 92 mg tiene una diferencia de 8 mg con el peso inicial. Lo cual precisa que son las muestras que han biodegradado el PET con una mayor eficiencia, debido a que el porcentaje de biodegradación es de 8%.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 21.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra MA

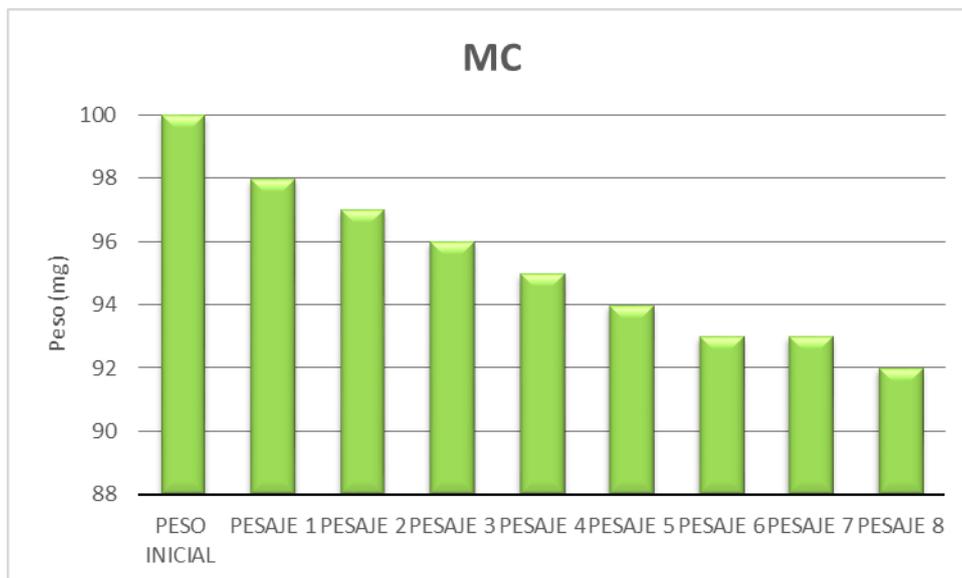
La muestra MA obtuvo una mayor biodegradación respecto a las muestras anteriores de otros tipos de siembra, la diferencia de pesos entre la inicial y la final fue de 8 mg en 32 días. Dando un porcentaje de biodegradación del PET de 8% (Figura 21).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 22.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra MB

Para la muestra MB existe una diferencia de 1 mg más en el peso final con respecto a las otras dos muestras, el peso final de esta fue de 93 mg lo cual precisa una disminución de 7 mg en 32 días. Por ende, existe un porcentaje de 7% de biodegradación del PET (Figura 22).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 23.** Pesos obtenidos para el PET en la muestra MC

En la muestra MC se puede observar una biodegradación paulatina, fue una de las muestras con mayor disminución del peso respecto a los anteriores tipos de siembra. La diferencia de peso es de 8 mg en 32 días. Obteniéndose que el porcentaje de biodegradación del PET fue de 8% (Figura 23).

Para determinar el porcentaje de biodegradación de cada muestra se comparó el peso inicial y el último pesaje, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 10:

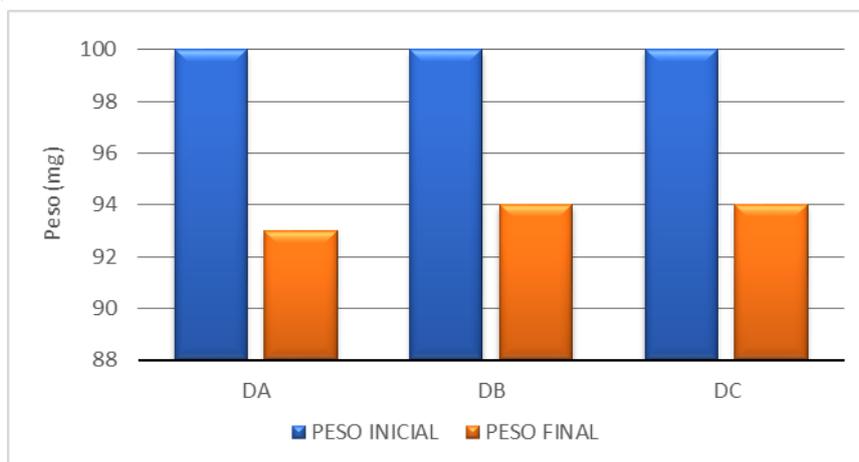
**Tabla 10.** Porcentaje de biodegradación del PET

	PESO INICIAL	PESO FINAL	PORCENTAJE DE BIODEGRADACIÓN
DA	100	93	7%
DB	100	94	6%
DC	100	94	6%
PA	100	93	7%
PB	100	94	6%
PC	100	93	7%
MA	100	92	8%
MB	100	93	7%
MC	100	92	8%

**Fuente:** Elaboración propia

Se precisa que la muestra MA Y MC son las que presentaron un mayor porcentaje de biodegradación para PET, este fue de 8% en 32 días.

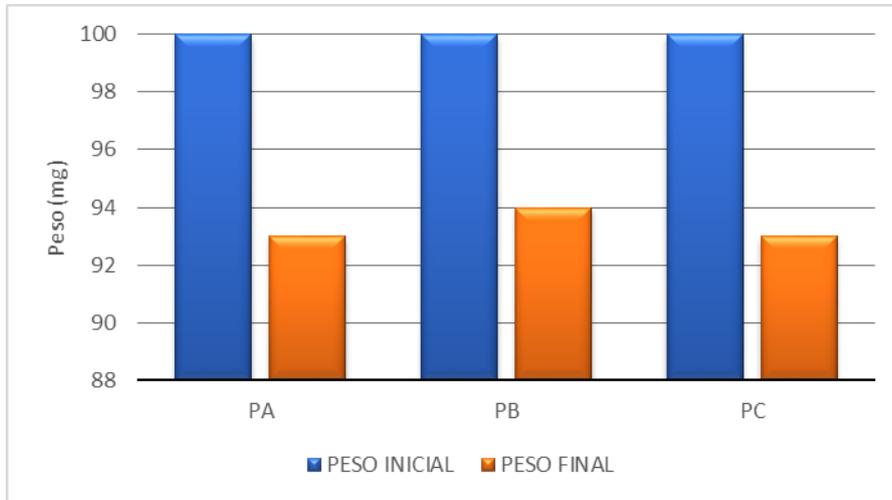
Además, se comparó los pesos inicial y final para cada muestra y tipo de siembra que se utilizó, se pueden observar los datos que se obtuvieron en el siguiente grafico de barras (Figura 24):



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 24.** Pesos obtenidos para el PET en las muestras DA, DB Y DC

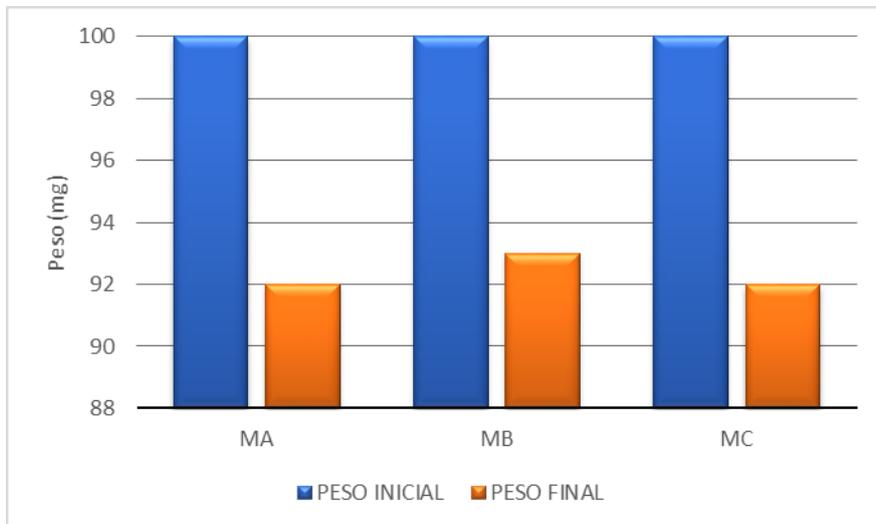
Para la muestra DA se puede observar que la diferencia entre el peso inicial y final es de 7 mg, teniendo este como peso final 1mg menos que las otras dos muestras, con un porcentaje de biodegradación de 7% de PET, para la muestra DB la diferencia es 6 mg siendo su porcentaje de biodegradación de 6% y lo mismo ocurre para la muestra DC (Figura 24).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 25.** Pesos obtenidos para el PET en las muestras PA, PB Y PC

Para la muestra PA y PC se nota que existe una diferencia entre peso inicial y final de 7 mg siendo su porcentaje de biodegradación del PET de 7%, en la muestra PB se observó una diferencia de 6 mg, siendo este 1 mg más comparado con las 2 muestras, con un porcentaje de biodegradación de 6 % de PET (Figura 25).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 26.** Pesos obtenidos para el PET en las muestras MA, MB Y MC

Para la muestra MA y MC existe una diferencia de 7 mg y un porcentaje de biodegradación de 7% y para la muestra MB existe una diferencia de 1 mg más en el peso final con respecto a las otras dos muestras (Figura 26).

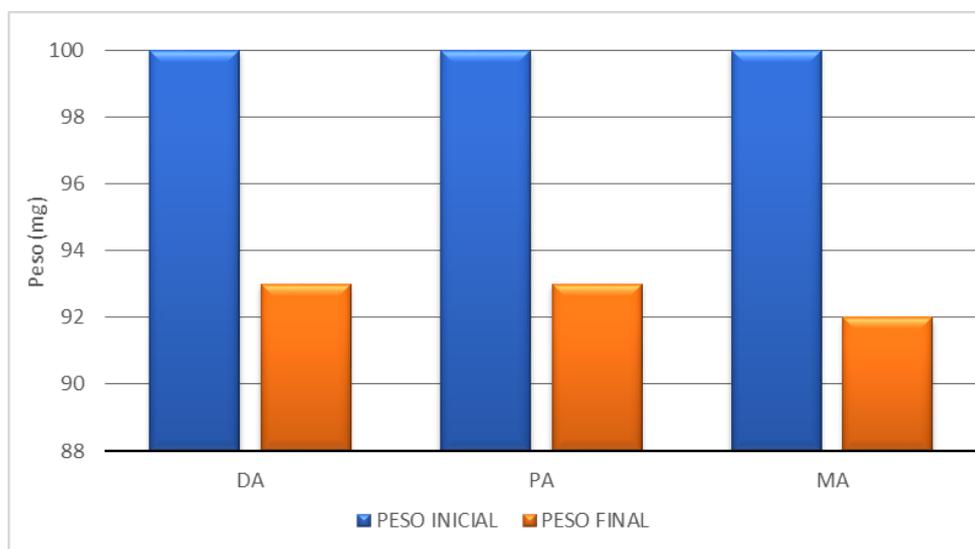
También se realizó una comparación entre las muestras, analizando los datos obtenidos para cada tipo de siembra y el orden, es decir DA, PA Y MA se compararon respectivamente. Esto con la finalidad de determinar cuál de los 3 tipos de siembra fue más eficiente en la biodegradación del PET.

Estos resultados se presentan en la Tabla 11, además también se realizaron gráficos de barras con los pesos inicial y final para cada comparación:

**Tabla 11.** Porcentaje de biodegradación del PET

	PESO INICIAL	PESO FINAL	PORCENTAJE DE BIODEGRADACIÓN
DA	100	93	7%
PA	100	93	7%
MA	100	92	8%
DB	100	94	6%
PB	100	94	6%
MB	100	93	7%
DC	100	94	6%
PC	100	93	7%
MC	100	92	8%

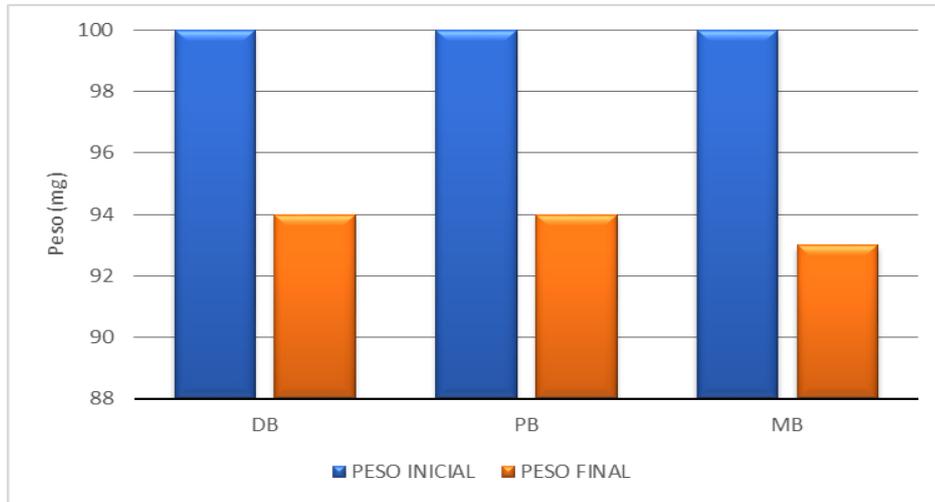
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

**Figura 27.** Pesos obtenidos para el PET en las muestras DA, PA Y MA

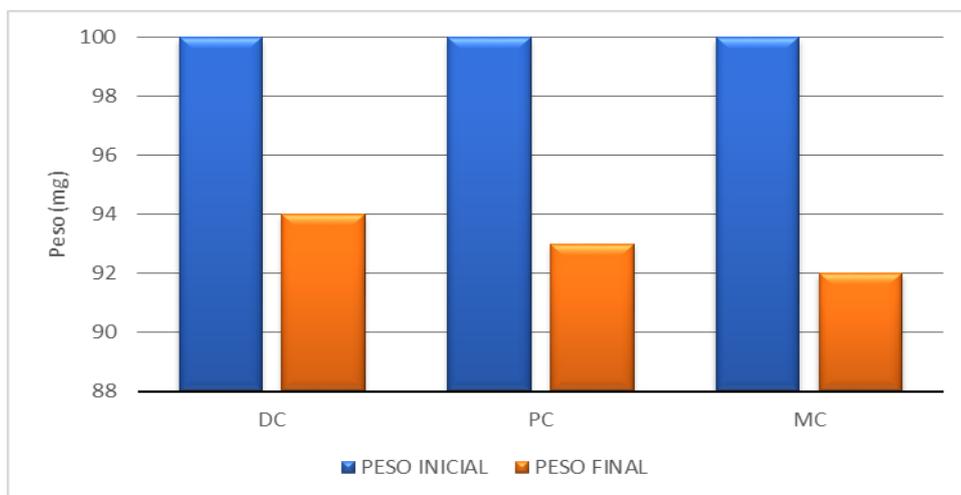
De acuerdo al gráfico de barras (Figura 27) se puede precisar que produce una mayor disminución del peso en la muestra MA, siendo esta 1 mg menos con respecto a las otras dos muestras, el peso final fue de 92 mg obteniendo un porcentaje de biodegradación de 8% de PET. Para las muestras DA y PA se observó cómo peso final 93 mg de PET teniendo un porcentaje de biodegradación de 7%.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 28.** Pesos obtenidos para el PET en las muestras DB, PB Y MB

En el gráfico de barras (Figura 28) se indica que produce una mayor reducción en el peso de la muestra MB, teniendo en el peso final 1 mg menos con respecto a las otras dos muestras, dicho peso final fue de 93 mg obteniendo un porcentaje de biodegradación de 7% de PET. Para las muestras DB y PB se muestra como peso final 94 mg de PET teniendo un porcentaje de biodegradación de 6%.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 29.** Pesos obtenidos para el PET en las muestras DC, PC Y MC

De acuerdo al gráfico de barras (Figura 29) se observó que produce menor reducción del peso en la muestra DC siendo su peso final de 94 mg, por ende, su porcentaje de biodegradación de PET es de 6%. Por su lado, la muestra MC produce mayor disminución en el peso final con un 92 mg teniendo a 8% como porcentaje de biodegradación de PET en 32 días. Por último, en la muestra PC se observó que tiene una diferencia del peso de 7 mg, por consiguiente, obtiene un porcentaje de degradación de 7%.

### Análisis de datos en SPSS

Para el análisis de datos primero se realizó la prueba de normalidad, con la finalidad de contrastar los datos obtenidos. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 12:

**Tabla 12.** Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Peso Final	.223	9	.200 <sup>b</sup>	.838	9	.065

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Peso inicial es constante. Se ha omitido.

b. Corrección de significación de Lilliefors

**Fuente:** Elaboración propia (Programa SPSS)

En el caso de nuestra investigación se utiliza Shapiro – Wilk, ya que nuestros datos son menores a 50. Este análisis nos arrojó un nivel de significancia mayor a 0.05 para los datos del peso final, por consiguiente, se aceptará la hipótesis nula que precisa que los resultados de biodegradación del PET presentan una distribución normal.

Después de haber realizado la prueba de normalidad realizamos análisis de varianza (ANOVA), para contrastar los datos obtenidos de la disminución de los pesos por ello se muestran las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La aplicación del *Fusarium culmorum* biodegrada el PET.

**H<sub>1</sub>:** La aplicación del *Fusarium culmorum* no biodegrada el PET.

Regla de decisión

Sig.  $\leq$  0.05 Se rechaza la **H<sub>0</sub>**, se acepta **H<sub>1</sub>**

Sig.  $>$  0.05 Se acepta la **H<sub>0</sub>**, se rechaza **H<sub>1</sub>**

**Tabla 13.** ANOVA para el PET biodegradado

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Peso inicial	Entre grupos	.000	2	.000		
	Dentro de grupos	.000	6	.000		
	Total	.000	8			
Peso Final	Entre grupos	2.889	2	1.444	4.333	.068
	Dentro de grupos	2.000	6	.333		
	Total	4.889	8			

**Fuente:** Elaboración propia

P – valor resulta ser mayor a 0.05 en este caso se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). La cual indica que la aplicación del *Fusarium culmorum* biodegrada el PET.

#### IV. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos para la biodegradación del PET por el hongo *Fusarium culmorum*, **BARBARÁN, CABANILLAS Y RUBIO (2010)** quien durante 35 días que fue el plazo que duró su experimentación por acción de la *Pseudomona aeruginosa* hace referencia a una reducción significativa del polietileno en polvo siendo el tratamiento 9 el que logró una mayor biodegradación en comparación con los otros tratamientos realizados, teniendo como resultado 19.93% de remoción. Además **URIBE et al. (2010)** aisló microorganismos que fueron puestos en contacto con polietileno de baja densidad (LDPE), obteniendo como resultado una degradación de 4,8% del peso inicial del LDPE en un periodo mayor a dos meses, esto se presentada en la cepa del hongo *Penicillium sp*, cabe resaltar que esta reducción se pudo haber visto afectada dado que este hongo fue implementado como parte de un consorcio microbiano para la degradación de LDPE, por lo cual concluyó que si se llega a implementar como único organismo degradador la cantidad de plástico degradado podría ser mayor. Por otro lado, **YEPES, Laura (2014)** menciona que el uso de consorcios microbianos, tales como hongos y bacterias, pueden ser una solución más factible para la degradación del plástico como el PEDB y conforme se sigan haciendo estudios se podría mejorar o aplicar en otros tipos de plásticos. Para **GÓMEZ Y OLIVEROS (2016)** quien durante 160 días tiempo que duró la incubación del PET con cepas de microorganismos Gram negativos, Gram positivos, levaduras y mohos aislados de un sitio de disposición final tuvo como resultado la pérdida de 43,7 % de PET por la acción de bacilos Gram negativos (bacterias). En el caso de **BRUNNER, Ivano et al. (2018)** obtuvo que ninguna de las cepas aisladas de ribera del lago de Zúrich lograron degradar polietileno, sin embargo 4 cepas pudieron degradar poliuretano. Además **BARJA, Carlos (2016)** a través de pruebas estadísticas que el hongo *Pestalotiopsis spp* era más eficiente para la biodegradación de polieturano que para del LDPE y el poliestireno de cristal. En nuestro trabajo de investigación se obtuvo un porcentaje de biodegradación promedio de 7% en 32 días.

Con respecto los parámetros físico – químicos del *Fusarium culmorum*, según la investigación de **IPARRAGUIRRE y VIVANCO (2015)** sobre hongos filamentos que poseen la capacidad de biodegradar plástico índico que después de un periodo de 2 meses de incubación se observó una mayor biodegradación para la especie *Mucor* la cual logro una disminución para el PET a un pH de 5 y una temperatura de 25°C. Por otro lado **FARRES, Amelia (2017)** determinó que las enzimas cutinasas del hongo *Aspergillus nidulans* biodegradaron con mayor eficacia los plásticos cuando se encontraron a un pH ácido (5 -7) y a una temperatura de 32°C. Además **NDAHEBWA, Christabel et al. (2018)**, tuvo un proceso de incubación de las hojas de LDPE que lo realizó durante dieciséis semanas a 37°C para bacterias y 28°C para hongos en una incubadora con agitador. Por otro lado, **ARCINEGA, Ilse (2008)** señaló que los microorganismos que utilizo degradaron el ácido tereftálico a un pH ácido en 20 días. En el caso de nuestra investigación se utilizó un pH de 5,24 y una temperatura 25°C.

Adicionalmente se observó a través del estereoscopio donde se pudo apreciar la presencia de zonas con desprendimientos y pequeños quiebres en los trozos del PET, esto en diferencia del colocado al inicio de la investigación. Además, se presentan partes opacas donde también se puede observar biopelículas, concentradas en ranuras donde se despliega el PET. Estas propiedades son similares a las descritas por **URBANEK, RYMOWICZ y MIRONCZUK (2018)** quienes observaron biopelículas sobre la superficie de diversos plásticos que se encontraron en un ambiente marino y frio.

## CONCLUSIONES

- La aplicación de *Fusarium culmorum* biodegrada el tereftalato de polietileno con un porcentaje de promedio del 7% durante un periodo de 32 días siendo el mejor tratamiento con el micelio.
- La temperatura adecuada para que el *Fusarium culmorum* biodegrade el tereftalato de polietileno fue de 25°C, debido a que en dicha temperatura el crecimiento de colonias y el desarrollo del mismo se realizó con mayor rapidez.
- Las características físico - químicas adecuadas para que se desarrolle el *Fusarium culmorum* y así biodegrade el tereftalato de polietileno con mayor eficacia fue con un pH ácido de 5,24 y una conductividad eléctrica de 67 S/m.

## V. RECOMENDACIONES

- Efectuar trabajos de investigación con el hongo *Fusarium culmorum* con tiempo de exposición mayores con la finalidad de obtener un superior porcentaje de biodegradación de PET u otros tipos de plástico.
- Investigar a profundidad acerca de las distintas familias de *Fusarium* para así lograr descubrir más especies capaces de degradar PET u otros residuos plásticos.
- Realizar una investigación con otras metodologías, como aplicar el PET o los materiales plastificantes de forma triturada o en polvo, ya que podría presentar un mayor porcentaje de biodegradación en un periodo de tiempo mucho más corto.
- Fomentar estudios de microorganismos capaces de degradar materiales contaminantes que demoran mucho tiempo en desaparecer, así como investigar el trabajo en conjunto de los diversos tipos de microorganismos para obtener una mayor eficacia en la biodegradación.

## REFERENCIAS

ABILITY of fungi isolated from plastic debris floating in the shoreline of a lake to degrade plastics por Brunner Ivano [et al.]. Plos One [en línea]. Agosto, 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019]. Disponible en:

327166734\_Ability\_of\_fungi\_isolated\_from\_plastic\_debris\_floating\_in\_the\_shoreline\_of\_a\_lake\_to\_degrade\_plastics

DOI: 10.1371/journal.pone.0202047

AHUACTZIN, Miriam. Biodegradación de ftalatos por *Pleurotus ostreatus* y *Fusarium culmorum* crecidos en medio líquido. Tesis (Doctora en Biología Experimental). México: Universidad de Politécnica de Tlaxcala, 2017. 131 pp. [En línea].

Disponible en: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI22280.pdf>

A Review On The Use Of Polyethylene Terephthalate (Pet) As Aggregates In Concrete por Tanvir Uddin Chowdhury [et al.]. Malaysian Journal of Science [en línea]. Diciembre, 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/330015635\\_A\\_Review\\_On\\_The\\_Use\\_Of\\_Polyethylene\\_Terephthalate\\_Pet\\_As\\_Aggregates\\_In\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/330015635_A_Review_On_The_Use_Of_Polyethylene_Terephthalate_Pet_As_Aggregates_In_Concrete)

DOI: 10.22452/mjs.vol37no2.4

ARCINIEGA, Ilse. Aislamiento de microorganismos degradadores de Tereftalato de Polietileno (PET) en medio ambiente combinado. Tesis (Ingeniero en Microbiología). México: Instituto Politécnico Nacional, 2008. Disponible en:

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14439/ProyectoFinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

AYALA, Laura. Estudios en degradación de poliuretano con hongos endófitos del género Pestalotiopsis. Tesis (Licenciada en Ciencias Biológicas). Ecuador: Pontificia Universidad Católica de Ecuador, 2015.

Disponible en: <https://mx.123dok.com/document/wq2m7kry-estudios-en-degradacion-de-poliuretano-con-hongos-endofitos-del-genero-pestalotiopsis.html>

BARBARÁN, Hellen; CABANILLAS, Lilian y RUBIO, Yoselin. Biodegradación de polietileno tereftalato (PET) por acción de *Pseudomona aeruginosa*, en condiciones de laboratorio. Tesis (Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería ambiental, 2018. 59 pp. [En línea]. Disponible en:

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/32118/barbaran\\_sh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/32118/barbaran_sh.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

BARJA, Carlos. La eficiencia del hongo *pestalotiposis spp* en la biodegradación los tipos de plásticos (poliuretano, polietileno de baja densidad, poliestireno de cristal) a nivel de laboratorio. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería ambiental, 2016.

BIODEGRADABILITY of polyethylene by bacteria and fungi from Dandora dumpsite Nairobi Kenya por Christabel Ndahebwa Muhonja [et al.]. Plos One [en línea]. Julio, 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019]. Disponible en:

<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0198446&type=printable>

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198446>

BLAIR, Christopher, QUINN, Brian. Microplastic Pollutants [en línea]. Elsevier Inc. 2017. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019]. Capítulo 4. Physiochemical properties and degradation. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128094068000049>

DOI: 10.1016/B978-0-12-809406-8.00004-9

CHÁVEZ, Mónica. Importación de agua embotellada se duplicó durante el verano. La Cámara [en línea]. Abril, 2019. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019].

Disponible en:

[https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r872\\_3/comercio%20exterior%20ok\\_final.pdf](https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r872_3/comercio%20exterior%20ok_final.pdf)

COBOS, Río. El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales [en línea]. Junio, n° 2, 2016. [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2019]. Disponible en: [http://hidromed.org/hm/images/pdf/0212.BSEHM%202016\\_31\(2\)179-190\\_Cobo-RR.pdf](http://hidromed.org/hm/images/pdf/0212.BSEHM%202016_31(2)179-190_Cobo-RR.pdf)  
ISSN: 0214-2813

DOI: 10.23853/bsehm.2017.0212

DANSO, Dominik, CHOW, Jennifer y STREIT, Wolfgang. Plastics: Microbial Degradation, Environmental and Biotechnological 2 Perspectives [en línea]. Julio, 2019. [Fecha de consulta: 7 agosto 2019]. Disponible en:

<https://aem.asm.org/content/aem/early/2019/07/15/AEM.01095-19.full.pdf>

DOI: 10.1128/AEM.01095-19

DAS, Surajit y DASH, Hirak. Microbial Biodegradation and Bioremediation [en línea]. Elsevier Inc. 2014. [Fecha de consulta: 10 de abril del 2019]. Capítulo 1. Microbial Bioremediation: A Potencial Tool for Restoration of Contaminated Areas. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128000212000017>

DOI: 10.1016/B978-0-12-800021-2.00001-7

DISTRIBUTION of fungal biomass in spike of naturally contaminated and inoculated with *Fusarium culmorum* por Maciej Buśko et al. [en línea]. Cereal Research Communications. 2008. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2019]. Disponible en: [236845458\\_Diversity\\_of\\_three\\_isolates\\_of\\_Fusarium\\_culmorum\\_W\\_G\\_Smith\\_Sacc](https://doi.org/10.1016/j.crc.2008.05.001)

ESPINOZA, Luis. Evaluación de la degradación de polietileno de baja densidad por diferentes especies de hongos. Tesis (Ingeniero Químico). Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ, 2018.

Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7410/1/139174.pdf>

GARCÍA, María. Ingeniería básica de una planta de producción de Polietileno Tereftalato. Tesis (Ingeniería Química). España: Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2017. Disponible en:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91113/fichero/TFGdefinitivo.pdf>

GEYER, Ronald, JAMBECK, Jenna y LAVENDER, Kara. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* [en línea]. Julio 2017, n° 7. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2019]. Disponible en:

<https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782/tab-pdf>

DOI: 10.1126/sciadv.1700782

GHOSH, Saheli, QURESHI, Asifa y PUROHIT, Hemant. Microbial degradation of plastics: Biofilms and degradation pathways [en línea]. Enero, 2019. [Fecha de consulta: 7 de abril del 2019]. Disponible en:

[333990954\\_Microbial\\_degradation\\_of\\_plastics\\_Biofilms\\_and\\_degradation\\_pathways](https://doi.org/10.1002/ami.201900054)

DOI: 0.26832/AESA-2019-CAE-0153-014

GIACOVELLI, Claudia. Single Use Plastic [en línea]. United Nations Environment Programme, 2018. [Fecha de consulta: 7 de abril del 2019]. Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic\\_sustainability.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_sustainability.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

ISBN: 978-92-807-3705-9

GÓMEZ, Jonathan y OLIVEROS, Cleomary. Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela [En línea]. Vol. 6 N° 2. San Cristóbal: Universidad del Zulia, 2016. [Fecha de consulta: 14 de mayo del 2019]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/327944588\\_BIODEGRADACION\\_DE\\_POLIETILENO\\_DE\\_TEREFTALATO\\_POR\\_MICROORGANISMOS\\_AISLADOS\\_DE\\_SITIOS\\_DE\\_DISPOSICION\\_FINAL\\_DE\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_TACHIRA\\_VENEZUELA\\_Polyethylene\\_terephthalate\\_Biodegradation\\_by\\_microorganism](https://www.researchgate.net/publication/327944588_BIODEGRADACION_DE_POLIETILENO_DE_TEREFTALATO_POR_MICROORGANISMOS_AISLADOS_DE_SITIOS_DE_DISPOSICION_FINAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_TACHIRA_VENEZUELA_Polyethylene_terephthalate_Biodegradation_by_microorganism)

ISSN: 2244-7334

HERMIDA, Elida. Polímeros [en línea]. Buenos Aires: Ministerio de educación, 2011 [Fecha de consulta: 7 de abril del 2019]. Disponible en: [http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09\\_Polimeros.pdf](http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf)

HOCKING, Martin. Handbook of Chemical Technology and Pollution Control [en línea]. Academic Press, 2005. . [Fecha de consulta: 15 de abril del 2019]. Capítulo 21: Commercial

Polycondensation (Step Growth) Polymers. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887965500247>

DOI: 10.1016/B978-012088796-5/50024-7

IBRAHIM, Mohammad. Biodegradation of polymers by Fungi isolated from Plastic garbage and assay for Optimum Condition for growth [en línea]. Mayo, 2013. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2019]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/260780595\\_Biodegradation\\_of\\_polymers\\_by\\_Fungi\\_isolated\\_from\\_Plastic\\_garbage\\_and\\_assay\\_for\\_Optimum\\_Condition\\_for\\_growth](https://www.researchgate.net/publication/260780595_Biodegradation_of_polymers_by_Fungi_isolated_from_Plastic_garbage_and_assay_for_Optimum_Condition_for_growth)

IPARRAGUIRRE, Katherine y VIVANCO, Madeleyne. Aislamiento y caracterización de hongos filamentosos biodegradadores de polietileno de tereftalato y polietileno de baja densidad – Ica. Tesis (Biólogo). Ica: Universidad San Luis Gonzaga, 2015. 100 pp. Disponible en:

<http://repositorio.unica.edu.pe/bitstream/handle/UNICA/2196/500.040.0000003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

JANKAUSKAITE, Virginija, MACIJAUSKAS, Gintaras y LYGAITIS, Ramunas. Polyethylene Terephthalate Waste Recycling and Application Possibilities: a Review [en línea]. Junio, 2008. [Fecha de consulta: 7 de abril del 2019]. Disponible en:  
[279597077\\_Polyethylene\\_Terephthalate\\_Waste\\_Recycling\\_and\\_Application\\_Possibilities\\_a\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/279597077_Polyethylene_Terephthalate_Waste_Recycling_and_Application_Possibilities_a_Review)

LAS cutinasas como una herramienta valiosa para la descontaminación de residuos plásticos por Carolina Peña Montes [et al]. Mensaje Bioquímico [en línea]. México: UNAM, 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019]. Disponible en: <http://tab.facmed.unam.mx/files/3-Pena-Montes.pdf>

ISSN: 0188-137X

MENDEZ, Carmen; VERGARAY, Germán; BÉJAR, Vilma y CÁRDENAS, Karina. Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno. [En línea]. Vol. 13 N° 3. Lima: UNMSM, 2007. [Fecha de consulta: 27 de abril del 2019]. Disponible en:

<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/2338/2040>

ISSN 1727-9933

MESA, Mauricio. Biodegradabilidad de Polietileno Tereftalato y de Oxopolietileno, a nivel de laboratorio, por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina. Tesis (Ingeniero en biotecnología). Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, 2013.

Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6261/T-ESPE-038954.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINAM. Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013. Diciembre, 2014. Disponible en:

<https://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>

MINAM. El Perú Primero. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>

MUÑOZ, Susan. Degradación de polímeros de interés industrial utilizando una mezcla de *Pseudomonas aeruginosa*, *Cladosporium* sp y *Alternaria* sp. Tesis (Tecnólogo Médico). Santiago: Universidad Santo Tomás, 2014. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Eugenio\\_Reyes/publication/290431329\\_Degradacion\\_de\\_Plasticos\\_utilizando\\_Bacterias\\_y\\_Hongos/links/5697acbd08ae34f3cf1f0a26/Degradacion-de-Plasticos-utilizando-Bacterias-y-Hongos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Eugenio_Reyes/publication/290431329_Degradacion_de_Plasticos_utilizando_Bacterias_y_Hongos/links/5697acbd08ae34f3cf1f0a26/Degradacion-de-Plasticos-utilizando-Bacterias-y-Hongos.pdf)

PACKA, Danuta, KOCZOWSKA, Irena. The effect of *Fusarium culmorum* /W.G Smith/ and *Fusarium nivale* /Fr./ ces. metabolites on germination, seedlings growth and cytological disturbances of rye, wheat and triticale. *Mycotox Res* [en En línea]. Marzo, 1987. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2019]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03192035#citeas>

DOI: 10.1007/BF03192035

RODRIGUEZ, Alba y RODRIGUEZ, Yuli. Biodegradación de poliuretano mediante el uso del hongo *Pestalotiopsis microspora*. Colombia: Instituto Universitario de la Paz, 2015. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de abril del 2019]. Disponible en:

[https://www.academia.edu/14192074/BIODEGRADACION\\_DE\\_POLIURETANO\\_MEDIANTE\\_EL\\_USO\\_DEL\\_HONGO\\_Pestalotiopsis\\_microspora](https://www.academia.edu/14192074/BIODEGRADACION_DE_POLIURETANO_MEDIANTE_EL_USO_DEL_HONGO_Pestalotiopsis_microspora)

SUASNAVAS, Darwin. Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión. Tesis (Licenciado en Ciencias con Químicas). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de ciencias exactas y naturales, 2017. Disponible en:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13224/Degradaci%20de%20Qu%20c3%admica%20del%20PET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNESCO. The plastic initiative. Marzo, 2019. Disponible en: <https://theplasticinitiative.org/>  
URBANEK, Aneta, RYMOWICZ, Waldemar y MIROŃCZUK, Aleksandra. Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea]. Julio, 2018. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2019]. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00253-018-9195-y.pdf>

ISSN: 1432-0614

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9195-y>

URIBE, Diego; GIRALDO, Daniel; GUTIÉRREZ, Susana y MERINO, Fernando. Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú [en línea]. Lima: UNMSM, 2010. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2019]. Disponible en:

<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/62/57>

VELASCO, Miguel. Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero *Gallería mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería ambiental, 2017. Disponible en:

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/12614/Velasco\\_UMJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/12614/Velasco_UMJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

WILLIAMS, David. *Comprehensive Polymer Science and Supplements* [en línea]. Pergamon Press plc. 1989. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2019]. Capítulo 22. Polymer Degradation in Biological Environments. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080967011002020>

DOI: 10.1016/B978-0-08-096701-1.00202-0

YEPES, Laura. Degradación de Polietileno de Baja densidad utilizando Hongos. Revisión sistemática de la Literatura. Tesis (Microbiología Industrial). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, 2014. Disponible en:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16184/YepesAguirreLauraMari a2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZIMMERMAN, Joseph. Comprehensive Polymer Science and Supplements [en línea]. Pergamon Press plc. 1989. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2019]. Capítulo 8. Polymers for Fibers. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080967011002111>

DOI: 10.1016/B978-0-08-096701-1.00211-1

ANEXOS Anexo 1: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
Problemas de Investigación	Objetivos de Investigación	Hipótesis de Investigación	Variables de Estudio	Definición conceptual
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál será el porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno mediante la aplicación de <i>Fusarium culmorum</i>?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <p>¿En qué condiciones térmicas propicias la aplicación de <i>Fusarium culmorum</i> podrá biodegradar el Tereftalato de polietileno, a nivel de laboratorio en Lima, 2019?</p> <p>¿Cuáles son las características físico-químicas en las que el <i>Fusarium culmorum</i> se desarrolla para biodegradar el tereftalato de polietileno, Lima-2019?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Determinar el porcentaje de biodegradación del Tereftalato de Polietileno mediante la aplicación de <i>Fusarium culmorum</i>.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p>Identificar las condiciones térmicas propicias para que la aplicación de <i>Fusarium culmorum</i> biodegrade el Tereftalato de Polietileno, a nivel de laboratorio en Lima, 2019.</p> <p>Describir las características físico-químicas del <i>Fusarium culmorum</i> se desarrolla para biodegradar el Tereftalato de Polietileno, Lima- 2019.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La aplicación de <i>Fusarium culmorum</i> biodegrada el Tereftalato de Polietileno.</p> <p><b>Hipótesis Específicas:</b></p> <p>Bajo condiciones térmicas propicias la aplicación de <i>Fusarium culmorum</i> biodegrada el Tereftalato de Polietileno, a nivel de laboratorio en Lima, 2019.</p> <p>En su desarrollo el <i>Fusarium culmorum</i> presenta características físico-químicas favorables para biodegradar el Tereftalato de polietileno, Lima-2019.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p><i>Fusarium culmorum</i></p> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Biodegradación de Tereftalato de Polietileno</p>	<p>Hongo filamentoso que presenta conidióforos simples, cortos, tabicados que terminan con varios macroconidios, alargados y estrechos, curvados y con extremos afilados (de 4-6 x 40-60 μm), con cinco a ocho septos transversales y pared fina y lisa (W.G. Smith)</p> <p>La biodegradación del plástico es el proceso por el cual bacterias, hongos, levaduras, gusanos y/o insectos descomponen o degradan a algunos compuestos orgánicos a compuestos simples. (Plastivida, 1998)</p>

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

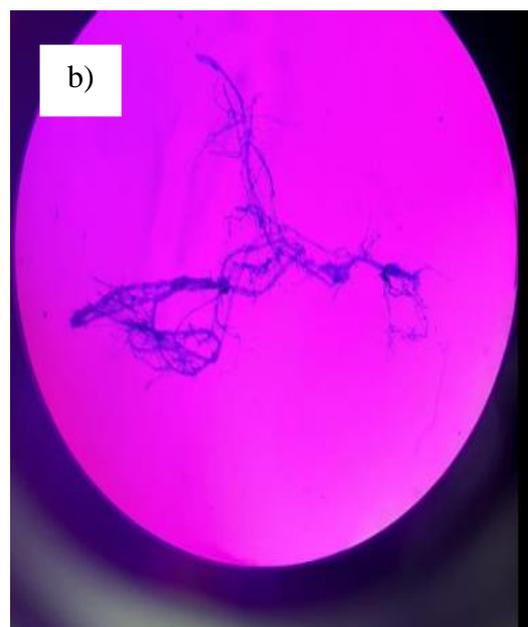
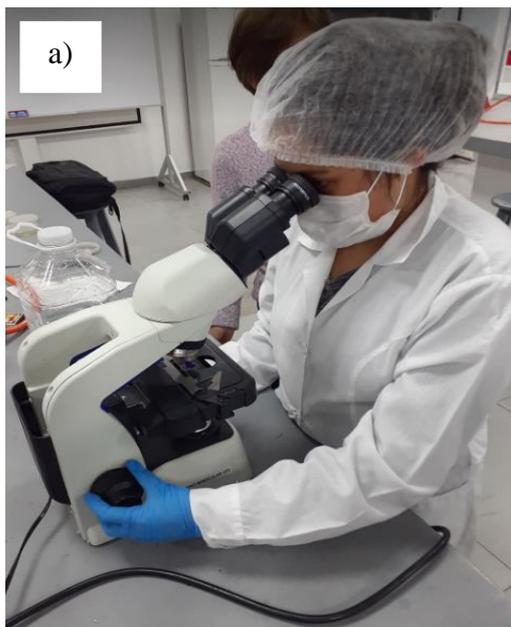
Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Método
Para el crecimiento y desarrollo del <i>Fusarium culmorum</i> se realizaron pruebas de laboratorio, donde se determinaron las condiciones térmicas y las características físicas – químicas tales como: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y concentración.	Condiciones térmicas para su desarrollo	Temperatura	°C	<b>Tipo:</b> Aplicada <b>Enfoque:</b> Cuantitativo <b>Nivel:</b> Explicativo <b>Diseño:</b> Experimental <b>Población:</b> Hongos de la especie <i>Fusarium culmorum</i> <b>Muestra:</b> 1 medio de cultivo de hongo de la especie <i>Fusarium culmorum</i> <b>Técnica de Recolección de datos:</b> Observación <b>Instrumentos:</b> Ficha de Registro de las Características Físicas del Tereftalato de Polietileno, Porcentaje de biodegradación de Tereftalato de Polietileno y las condiciones de <i>Fusarium culmorum</i>
	Características Físico-químicas para su desarrollo	Potencial de hidrogeno (pH)	-	
		Conductividad eléctrica	S/m	
		Concentración	(UFC/ml)	
Para determinar la biodegradación del tereftalato de polietileno se midió mediante las propiedades físicas, donde se llevó a cabo una valoración gravimétrica, tomando en cuenta la masa, el área y el color.	Porcentaje de biodegradación	Peso Inicial - Final	mg	
	Características Físicos	Masa	mg	
		Área	cm <sup>2</sup>	
		Color	Observación	

**Anexo 2:** Panel de fotografías



**Figura 30.** Obtención del *Fusarium culmorum*

A) Observación al hongo en el microscopio      b) Vista del hongo en el microscopio



**Figura 31.** Observación del *Fusarium culmorum*

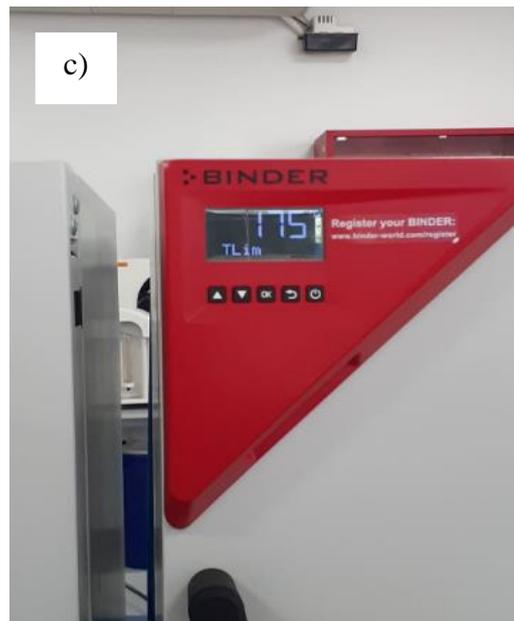
a) Material de vidrio envuelto en papel craft



b) Vista del interior de la estufa

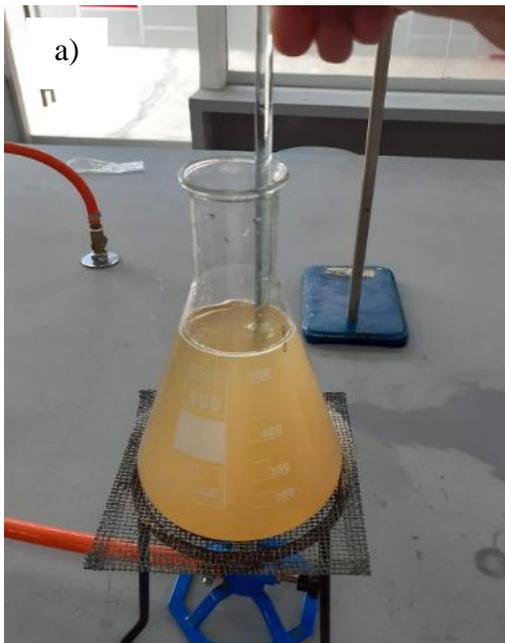


c) Estufa a 175 °C por 1 hora

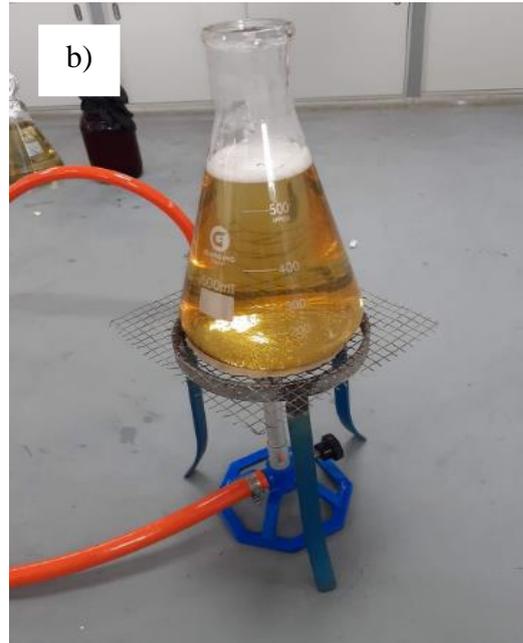


**Figura 32.** Esterilización de las muestras, envolviéndolas en papel craft y colocándolas en una estufa a 175°C por 1 hora.

a) Agar dextrosa de papa antes de hervir



b) Agar dextrosa de papa después de hervir



c) Reposo de agar dextrosa de papa después hervir



**Figura 33.** Preparación del Agar Dextrosa de Papa

a) Fotografía del autoclave

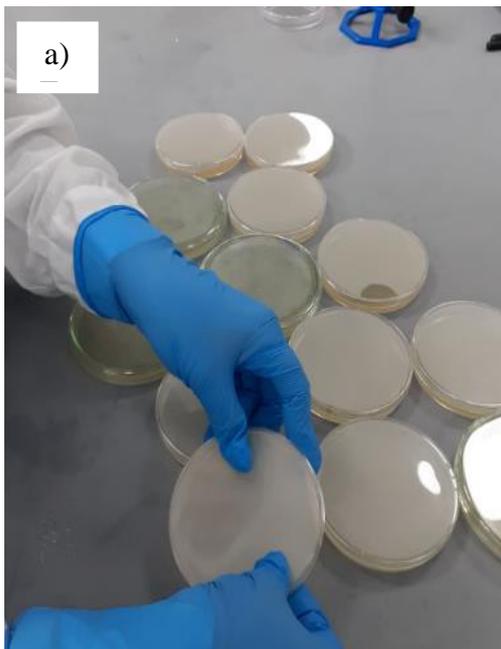


b) Autoclave al 121°C



**Figura 34.** Esterilización del Agar Dextrosa de Papa en la autoclave a 121°C por 15 minutos.

a) Placas de Petri lista para la inoculación



b) Placas de Petri enfriándose



**Figura 35.** Vaciado del agar dextrosa de papa en las placas de Petri



**Figura 36.** Diluyendo al hongo para su reproducción

a) Esterilizando el  
asa de siembra

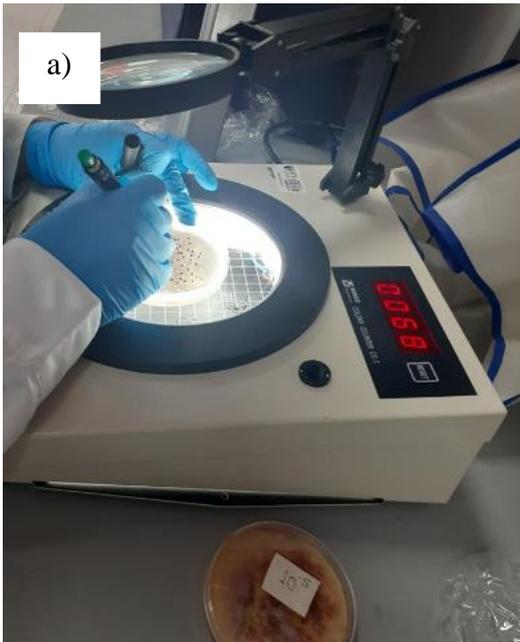
b) Cortando el  
micelio del hongo

c) Depósito del micelio  
en el centro del agar



**Figura 37.** Inoculación del *Fusarium culmorum*

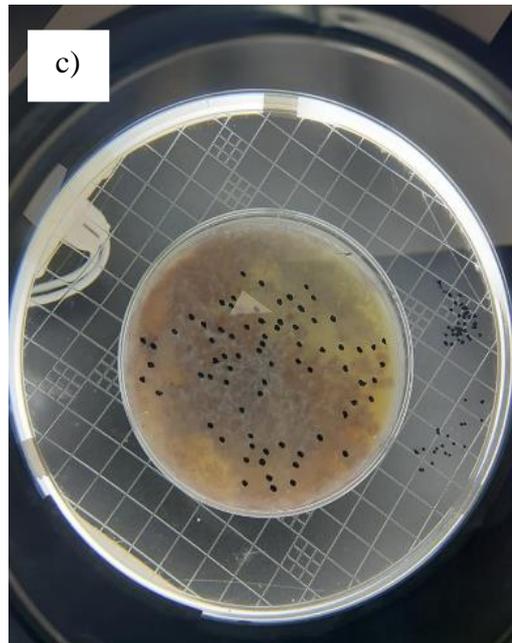
a) Realizando el conteo



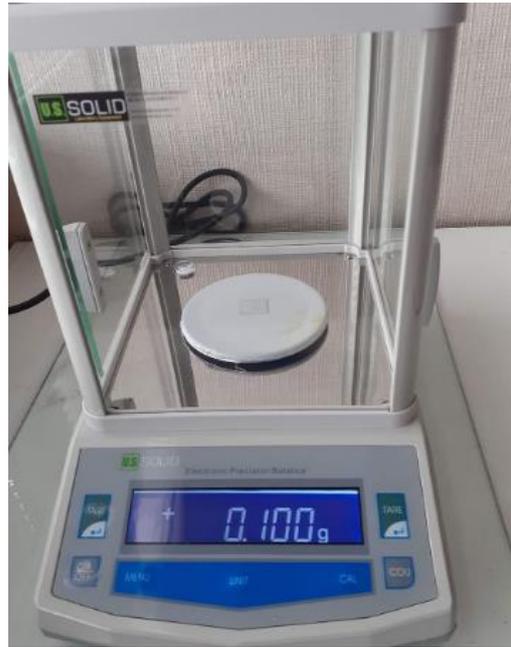
b) Vista de la placa de Petri con el número colonias



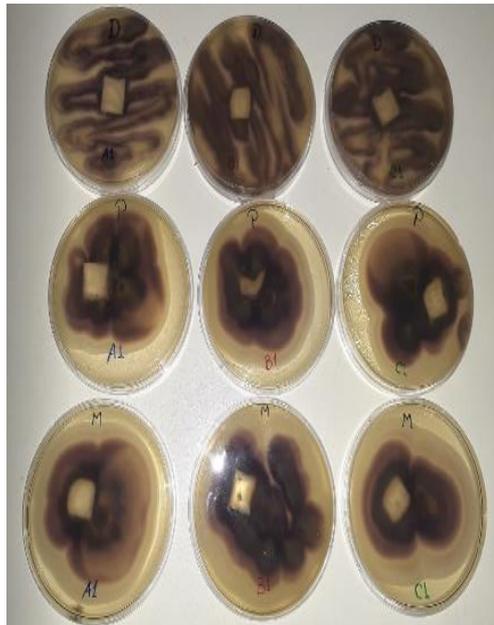
c) Vista de cerca de la placa de Petri



**Figura 38.** Conteo de colonias de *Fusarium culmorum*



**Figura 39.** Pesaje de las muestras de Tereftalato de Polietileno

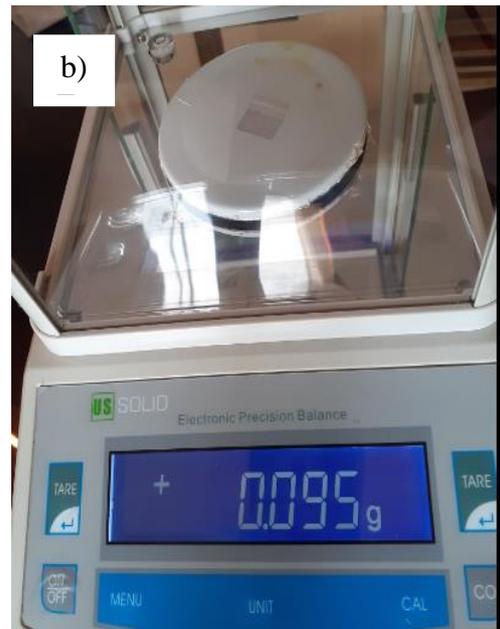


**Figura 40.** Tereftalato de polietileno en contacto con *Fusarium culmorum*

a) Pesaje de PET después de estar en contacto con el hongo ( )



b) Pesaje de PET después de estar en contacto con el hongo ( )



c) Pesaje de PET después de estar en contacto con el hongo ( )

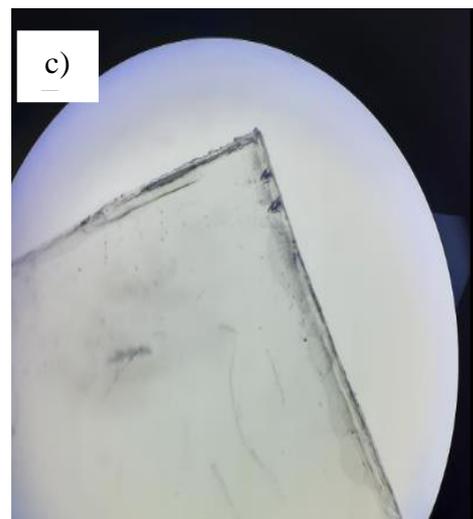
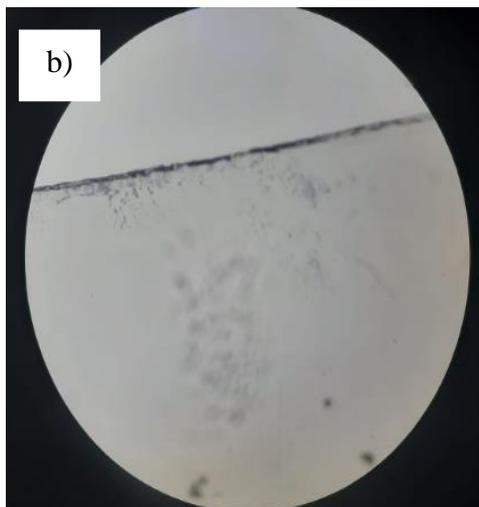
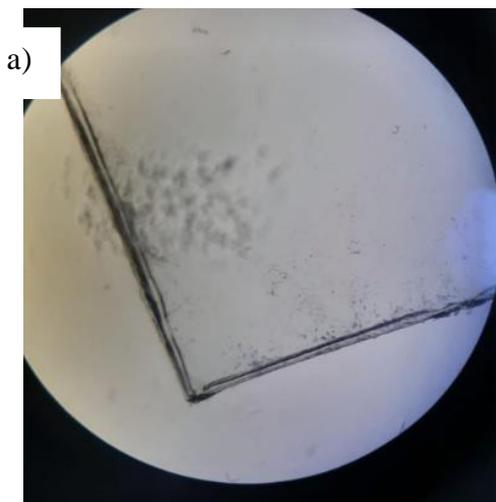


**Figura 41.** Pesaje de las muestras del Tereftalato de Polietileno después de tiempo de contacto con el *Fusarium culmorum*

a) Vista de la degradación del PET (Periferia)

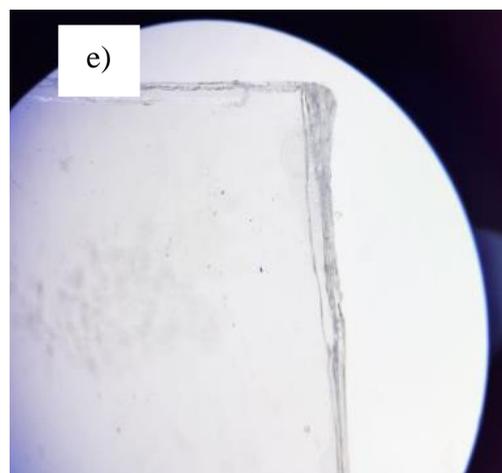
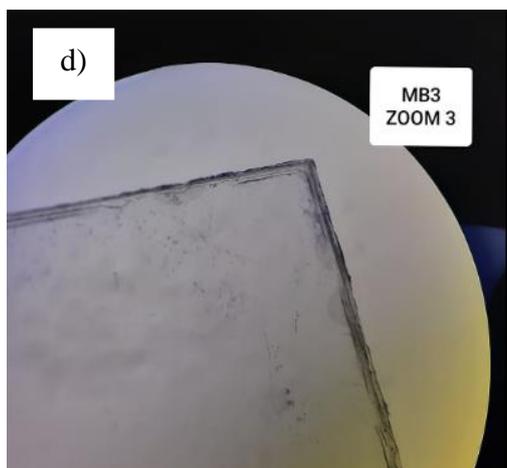
b) Vista de la degradación del PET (Diluido)

c) Vista de la degradación del PET (Micelio)



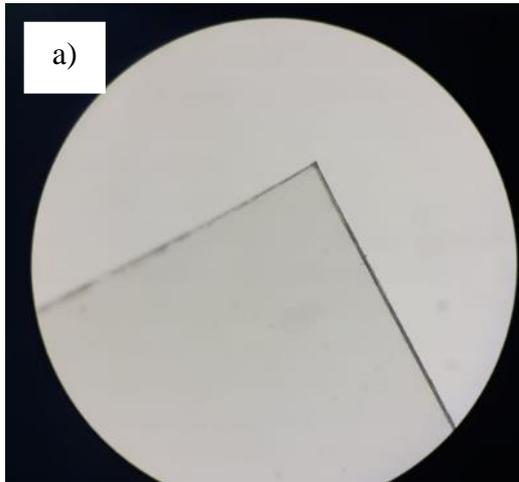
d) Vista de la degradación del PET (ZOOM 3)

e) Vista de la degradación del PET (ZOOM 4)

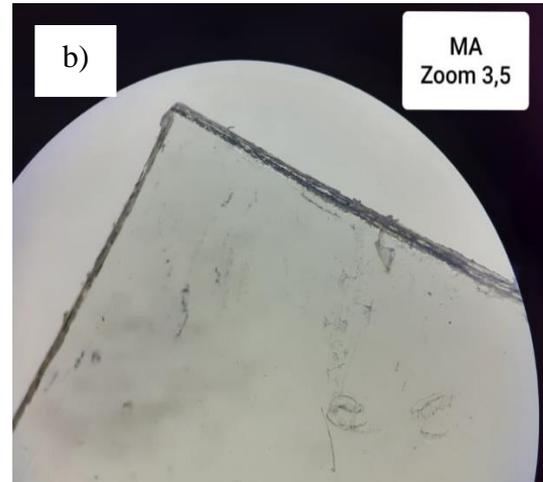


**Figura 42.** Visualización del Tereftalato de Polietileno en el estereoscopio después de colocarlo en contacto con el *Fusarium culmorum*

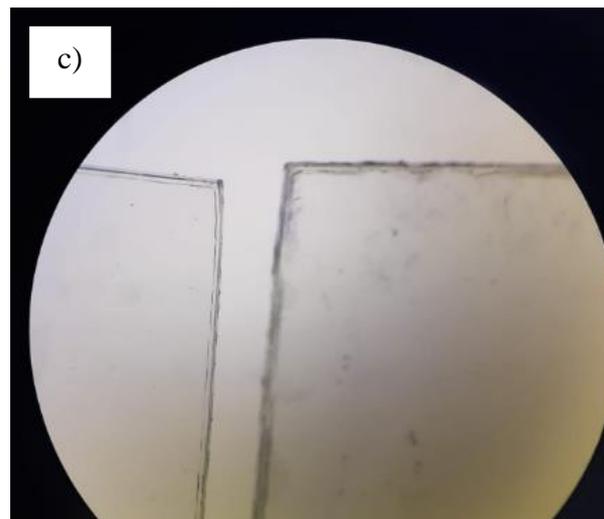
a) Vista del PET sin contacto



b) Vista del PET con contacto



c) Comparación del PET antes y después de someterlo al *Fusarium culmorum*



**Figura 43.** Visualización del tereftalato de polietileno en el estereoscopio antes y después de la exposición al *Fusarium culmorum*



**FICHA DE REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TEREFALATO  
DE POLIETILENO**

Investigación:
Observador:
Ubicación:
Asesor:

Características del Tereftalato de Polietileno					
Código	N° de muestra	Parámetros Físicos			Fecha
		Masa	Área	Color	

 VALIDADOR 1	 CIP 43444 VALIDADOR 2	 Juan Alberto Peralta Medina Ing. Químico - CIP N° 56871 Mtro. en Gestión Ambiental VALIDADOR 3
--	---	---

**Figura 45.** Ficha de Registro de las características del tereftalato de polietileno



Clasificación taxonómica del hongo, *Fusarium culmorum*

REINO	FUNGI
FILO	ASCOMYCOTA
CLASE	SORDARIOMYCETES
ORDEN	HYPOCREALES
FAMILIA	NECTRIACEAE
GENERO	<i>Fusarium</i>
ESPECIE	<i>Fusarium culmorum</i>

Fuente: Index Fungorum, <http://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=196997>



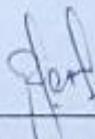
Carlos Torres Limache  
Ing. Agrónomo Fitopatólogo

**Figura 47.** Clasificación taxonómica de *Fusarium culmorum*

**ENSAYO N° 1**  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA - UCV

**Dirección:** Av. Alfredo Mediola 3262, Panamericana Norte - Los Olivos  
**Tipo de Ensayo:** Análisis Microbiológicos  
**Matriz:** Condiciones del *Fusarium culmorum*  
**Lugar donde se realizó el ensayo:** Laboratorio de Microbiología- UCV

Condiciones del <i>Fusarium culmorum</i>					
N° de repeticiones	Tipo de sembrado	Parámetros físico - químicos			Condiciones térmicas
		Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (S/m)	Cantidad de colonias (UFC/ml)	Temperatura °C.
1	Diluido	5,32	48,3	1,4 x 10 <sup>-1</sup>	18
2	Periferia	5,32	48,3	2,1 x 10 <sup>-1</sup>	
3	Micelio	5,32	48,3	3,5 x 10 <sup>-1</sup>	
4	Diluido	5,26	53,4	2,3 x 10 <sup>-1</sup>	21
5	Periferia	5,26	53,4	3,1 x 10 <sup>-1</sup>	
6	Micelio	5,26	53,4	4,3 x 10 <sup>-1</sup>	
7	Diluido	5,24	67	6,8 x 10 <sup>-1</sup>	25
8	Periferia	5,24	67	7,2 x 10 <sup>-1</sup>	
9	Micelio	5,24	67	7,8 x 10 <sup>-1</sup>	



Q. F. B ROSALBINA DE LA CRUZ DAVILA

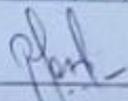
UCV - LIMA NORTE

**Figura 48.** Ficha de registro de las condiciones de *Fusarium culmorum* firmado por la Q. F. B.

**ENSAYO N° 2**  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA - UCV

Dirección: Av. Alfredo Mediola 3262, Panamericana Norte - Los Olivos  
 Tipo de Ensayo: Diferencia de masas  
 Matriz: Porcentaje de biodegradación de PET  
 Lugar donde se realizó el ensayo: Laboratorio de Microbiología- UCV

Porcentaje de Biodegradación (Diluido)				
Código	Masa (mg)	%	Día	Fecha
DA0	100 mg	0%	0	9/26/2019
DB0	100 mg	0%	0	9/26/2019
DC0	100 mg	0%	0	9/26/2019
DA1	99 mg	1%	4	10/14/2019
DB1	99 mg	1%	4	10/14/2019
DC1	99 mg	1%	4	10/14/2019
DA2	98 mg	2%	8	10/18/2019
DB2	99 mg	1%	8	10/18/2019
DC2	98 mg	2%	8	10/18/2019
DA3	97 mg	3%	12	10/22/2019
DB3	98 mg	2%	12	10/22/2019
DC3	98 mg	2%	12	10/22/2019
DA4	96 mg	4%	16	10/26/2019
DB4	97 mg	3%	16	10/26/2019
DC4	97 mg	3%	16	10/26/2019
DA5	96 mg	4%	20	10/30/2019
DB5	96 mg	4%	20	10/30/2019
DC5	97 mg	3%	20	10/30/2019
DA6	95 mg	5%	24	11/3/2019
DB6	96 mg	4%	24	11/3/2019
DC6	96 mg	4%	24	11/3/2019
DA7	94 mg	6%	28	11/7/2019
DB7	95 mg	5%	28	11/7/2019
DC7	95 mg	5%	28	11/7/2019
DA8	93 mg	7%	32	11/11/2019
DB8	94 mg	6%	32	11/11/2019
DC8	94 mg	6%	32	11/11/2019

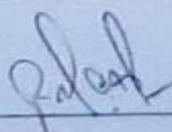
  
 Q.F.B ROSALBINA DE LA CRUZ DAVILA  
 UCV - LIMA NORTE

**Figura 49.** Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno firmado por la Q. F. B - Diluido

**ENSAYO N° 2**  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA - UCV

**Dirección:** Av. Alfredo Mediola 3262, Panamericana Norte - Los Olivos  
**Tipo de Ensayo:** Diferencia de masas  
**Matriz:** Porcentaje de biodegradación de PET  
**Lugar donde se realizó el ensayo:** Laboratorio de Microbiología- UCV

Porcentaje de Biodegradación (Periferia)				
Código	Masa (mg)	%	Día	Fecha
PA0	100 mg	0%	0	9/26/2019
PB0	100 mg	0%	0	9/26/2019
PC0	100 mg	0%	0	9/26/2019
PA1	99 mg	1%	4	10/14/2019
PB1	99 mg	1%	4	10/14/2019
PC1	98 mg	2%	4	10/14/2019
PA2	98 mg	2%	8	10/18/2019
PB2	98 mg	2%	8	10/18/2019
PC2	97 mg	3%	8	10/18/2019
PA3	97 mg	3%	12	10/22/2019
PB3	98 mg	2%	12	10/22/2019
PC3	97 mg	3%	12	10/22/2019
PA4	97 mg	3%	16	10/26/2019
PB4	97 mg	3%	16	10/26/2019
PC4	96 mg	4%	16	10/26/2019
PA5	96 mg	4%	20	10/30/2019
PB5	96 mg	4%	20	10/30/2019
PC5	95 mg	5%	20	10/30/2019
PA6	95 mg	5%	24	11/3/2019
PB6	95 mg	4%	24	11/3/2019
PC6	95 mg	5%	24	11/3/2019
PA7	94 mg	5%	28	11/7/2019
PB7	94 mg	5%	28	11/7/2019
PC7	94 mg	6%	28	11/7/2019
PA8	93 mg	6%	32	11/11/2019
PB8	94 mg	6%	32	11/11/2019
PC8	93 mg	7%	32	11/11/2019



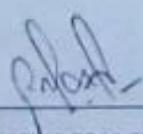
\_\_\_\_\_  
 Q.F.B ROSALBINA DE LA CRUZ DAVILA  
 UCV - LIMA NORTE

**Figura 50.** Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno firmado por la Q. F. B - Periferia

**ENSAYO N° 2**  
**LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA - UCV**

**Dirección:** Av. Alfredo Mediola 3262, Panamericana Norte - Los Olivos  
**Tipo de Ensayo:** Diferencia de masas  
**Matriz:** Porcentaje de biodegradación de PET  
**Lugar donde se realizó el ensayo:** Laboratorio de Microbiología- UCV

Porcentaje de Biodegradación (Micelio)				
Código	Masa (mg)	%	Día	Fecha
MA0	100 mg	0%	0	9/26/2019
MB0	100 mg	0%	0	9/26/2019
MC0	100 mg	0%	0	9/26/2019
MA1	98 mg	1%	4	10/14/2019
MB1	98 mg	2%	4	10/14/2019
MC1	98 mg	2%	4	10/14/2019
MA2	97 mg	2%	8	10/18/2019
MB2	97 mg	3%	8	10/18/2019
MC2	97 mg	3%	8	10/18/2019
MA3	97 mg	3%	12	10/22/2019
MB3	97 mg	4%	12	10/22/2019
MC3	96 mg	4%	12	10/22/2019
MA4	96 mg	4%	16	10/26/2019
MB4	96 mg	4%	16	10/26/2019
MC4	95 mg	5%	16	10/26/2019
MA5	95 mg	5%	20	10/30/2019
MB5	95 mg	5%	20	10/30/2019
MC5	94 mg	6%	20	10/30/2019
MA6	94 mg	6%	24	11/3/2019
MB6	94 mg	6%	24	11/3/2019
MC6	93 mg	7%	24	11/3/2019
MA7	93 mg	6%	28	11/7/2019
MB7	93 mg	7%	28	11/7/2019
MC7	93 mg	7%	28	11/7/2019
MA8	92 mg	7%	32	11/11/2019
MB8	93 mg	8%	32	11/11/2019
MC8	92 mg	8%	32	11/11/2019

  
 Q.F.B ROSALBINA DE LA CRUZ DAVILA

UCV - LIMA NORTE

**Figura 51.** Ficha de registro del porcentaje de biodegradación del tereftalato de polietileno firmado por la Q. F. B – Micelio