



Citación: Ambur *et al.* (2022). Efectividad de hongos filamentosos en la degradación de polietileno de baja densidad proveniente del botadero de sicuani provincia de canchis – cusco . Q'EUÑA 13(2): 21- 28

<https://doi.org/10.51343/rq.v13i2.1097>

Recibido: Mayo 13, 2022

Aceptado: Noviembre 21, 2022

Publicado: Diciembre 30, 2022

Copyright: © 2022 Ambur *et al.* Este es un artículo de acceso abierto revisado por pares y publicado por la Revista Q'EUÑA de la Sociedad Botánica del Cusco y la UNSAAC (<http://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/RQ>) y distribuido bajo los términos de la licencia de atribución Creative Commons, que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Declaración de disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Autor Corresponsal:

Ruth Lucy Ambur Soncco
ruthlucy.bio.mp@gmail.com

ruthlucy.bio.mp@gmail.com.
ORCID: 0000 - 0003- 1798 - 1485
martha.mostajo@unsaac.edu.pe
ORCID: 0000-0002- 4350 - 9283

Efectividad de hongos filamentosos en la degradación de polietileno de baja densidad proveniente del botadero de Sicuani Provincia de Canchis – Cusco

Effectiveness of filamentous fungi in the degradation of low density polyethylene from the Sicuani landfill in the Province of Canchis - Cusco

Ruth Lucy Ambur Soncco¹, Martha Natividad Mostajo Zavaleta¹

¹Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Facultad de Ciencias Biológicas. Avenida de la Cultura N°733 Cusco, Perú

Resumen

Se determinó la efectividad de hongos filamentosos degradadores de polietileno de baja densidad (LDPE), aislados de residuos plásticos provenientes del botadero de residuos sólidos del distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Región Cusco; durante el año 2018. Las muestras fueron seleccionadas y puestas a pruebas de degradación por la técnica de Kavelman y Kendrich, en medio mineral (MSM) y suelo. Las especies de micromycetos se identificaron por la técnica de Klich y Pitt. Los cambios se evidenciaron por gravimetría con la diferencia de peso, por Espectroscopia de Infrarrojo de Transformada de Fourier (FTIR) con variaciones en las regiones o cambios en los grupos funcionales, y la observación en Microscopio Electrónico de Barrido (SEM). Se identificaron 04 especies de hongos filamentosos degradadores de LDPE. Las cepas eficientes en la degradación de LDPE corresponden a *Aspergillus flavus* (sic - 18) con 12.98 % y (sic - 08) con 12.19 %, estadísticamente iguales al 95%; además que los hongos filamentosos presentan mayor efectividad sobre el LDPE transparente tipo (A) con un promedio de 8.46 %. En suelo, los consorcios presentaron una similar efectividad degradativa sobre LDPE, con 3.70 % para el consorcio I, 3.15 % para el consorcio II, y 3.87 % para el consorcio III, que al 95 % son estadísticamente iguales. En FTIR se observó cambios en LDPE por la actividad enzimática oxidativa por cepas incubadas en medio de sales minerales sin fuente de carbono (MSM), así mismo por consorcios de hongos filamentosos, con el aumento de bandas en la región de carbonilo C=O y C-O. En SEM se observa estructuras fúngicas adheridas a la superficie de LDPE. Los resultados evidencian la actividad enzimática de los hongos filamentosos y la utilización del LDPE como fuente de carbono.

Palabras claves: Biodegradación, polietileno de baja densidad, hongos filamentosos

Abstract

The effectiveness of low-density polyethylene (LDPE) degrading filamentous fungi isolated from plastic waste from the Sicuani district garbage dump, Canchis province, Cusco region was determined; from January to December 2018. The samples were selected and subjected to degradation tests by the Kavelman and Kendrich technique, in mineral medium (MSM) and soil. Micromycete species were identified by the Klich and Pitt technique. The changes were evidenced by gravimetry with the difference in weight, by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) with variations in the regions or changes in the functional groups, and observation in a Scanning Electron Microscope (SEM). Eight species of LDPE-degrading filamentous fungi were selected and determined. The efficient strains in the degradation of LDPE correspond to *Aspergillus flavus* (Sic - 18) with 12.98% and (Sic - 08) with 12.19%, statistically equal to 95%; In addition, the filamentous fungi have greater effectiveness over the transparent and colorless LDPE type (A) with an average of 8.46%. In soil, the consortia presented a similar degradative effectiveness on LDPE, with 3.70% for consortium I, 3.15% for consortium II, and 3.87% for consortium III, which at 95% are statistically equal. In FTIR, changes in LDPE were observed due to oxidative enzymatic activity by strains incubated in mineral salt medium without carbon source (MSM), as well as by consortia of filamentous fungi, with the increase of bands in the carbonyl region C=O and C-O. SEM shows fungal structures adhered to the LDPE surface. The results show the enzymatic activity of the filamentous fungi and the use of LDPE as a carbon source.

Keywords: Biodegradation, low density polyethylene, filamentous fungi.

Introducción

Las bolsas plásticas son las más utilizadas, de acuerdo a las estimaciones de la (ONU, 2019), al año se usan 500,000 millones de bolsas de plástico. Su difícil degradación, hace que pueda tardar en descomponerse entre 400 a 1,000 años, y sus residuos químicos perduran por mucho más tiempo (Sánchez, 2011). La acumulación de residuos plásticos en el mundo contamina, dando lugar a problemas en el manejo de la gestión ambiental y de residuos sólidos; especialmente las bolsas de plástico (Ojeda et al, 2009). La biodegradación de los plásticos por microorganismos es una alternativa (Carrasco, 1991; Comisión Técnica Plástica, 1998; Morton y Surman, 1996). El mecanismo de la degradación se realiza a través de compuestos complejos, por las enzimas que se sintetizan así mismo, pudiendo transformar cualquier tipo de sustrato orgánico (Béjar et al, 2007).

Muchos desechos plásticos pueden llegar al mar por acción de las tormentas, el viento, las lluvias, por el cauce de los ríos o por vertederos, amenazando a los organismos de los océanos (Greenpeace, 2019). Adicionalmente, la quema de plásticos, genera la formación de dioxinas y furanos, los cuales generan una serie de contaminantes que producen enfermedades, a nivel de las vías respiratorias del ser humano (Verma, et. al., 2016). También, las bolsas de plásticos emiten trazas de metano y etileno cuando están expuestas a la luz solar, y que son la principal causa de gases de efecto invernadero (ONU, 2018).

El grado de biodegradación de LDPE (tipo 1: 100 % polietileno), poliéster (tipo 2: 100% poliéster) y LDPE modificado (tipo 3: 70 % polietileno y 30 % bionolle), incubados en 3 tipos de suelo (carbón residual, bosque y cráter de volcán extinto), fueron evaluadas por Nowak, et. al., (2011), a los 225 días, a través de la pérdida de peso, FTIR y SEM, determinándose que, las bacterias pertenecientes al género, *Bacillus*, y hongos como *Gliocladium viride*, *Aspergillus awamori* y *Mortierella subtilissima*, evidencian los cambios en las propiedades mecánicas y adherencia de estructuras fúngicas por SEM y además cambios químicos en las cadenas poliméricas por FTIR. En la misma línea, se aisló consorcios de microorganismos que degradan LDPE, colectados por Gutiérrez, (2013), en la disposición final de residuos en “Bordo Poniente” en México, donde se identificó hasta 6 hongos filamentosos (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium sp.*, *Gliocladium virens*, *Penicillium sp.*), evaluándose la actividad degradativa utilizando el medio de cultivo MSM, donde comprobó disminución de peso del LDPE de 18.12% a pH 5 con agitación. Para determinar el nivel de degradación en LDPE por 7 especies de hongos, por 3 períodos de tiempos (35, 60 y 90 días), Espinoza (2018), analizó y caracterizó fisicoquímicamente las muestras de plástico por variación de peso, SEM y FTIR, evidenciando que *Fusarium* es la más apta para degradar LDPE mostrando una pérdida de peso con una media de 0.99% +/- 0.11%, cultivado durante 90 días; en tanto, *Aspergillus* fue satisfactorio, pero en menor grado.

Los micromicetos de polietileno procedentes del relleno

Rev. Q'EUANA 13 (2): 22 (Diciembre 2022)

Sociedad Botánica del Cusco

sanitario “El Zapallal” en Lima, fueron aislados y caracterizados por Méndez et. al., (2007), obteniéndose 30 muestras de productos plásticos, sometidos a limpieza energética, luego se aislaron 20 cepas pertenecientes a los géneros: *Aspergillus* (06), *Penicillium* (03), *Cladosporium* (02), *Geotrichum* (01), *Mucor* (01), *Helminthosporium* (02), *Chaetomium* (01), *Fusarium* (01), *Hormodendrum* (01), *Cephalosporium* (01) y *Nigrospora* (01), siendo la capacidad degradativa del polietileno a 30°C, pH 6,5 el 30% de cepas; mientras que a 30 °C, pH 8,0 el 15% de cepas, siendo *Aspergillus flavus* con buena (+ + +) actividad degradativa.

Uribe et. al., (2010), aislaron y describieron la actividad biodegradativa de microorganismos sobre LDPE, procedentes de un relleno sanitario de Lima, ensayaron una solución de sales minerales, a pH 5,5, para hongos y pH de 7 para bacterias, incubados a 20°C por 60 días, logrando aislar 6 cepas: *Pseudomonas sp.* (02), *Penicillium sp.* (01), *Rhodotorula sp.* (01), *Hyalodendron sp.* (01), y una levadura no identificada, evidenciándose la acción degradativa en FTIR, observando la reducción de la fuente de carbono correspondiente al grupo funcional C - O (83.89% a pH 7) y para C = C con un índice de reducción de 19.77% a pH 5,5. El deterioro por biodegradación de microorganismos de plásticos LDPE, procedentes del botadero de la municipalidad de Tacna - Perú, fue evaluado por Gutiérrez, (2019), lográndose aislar cepas de bacterias, hongos identificados como *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp.*, levadura *Saccharomyces cereviceae* y dos no identificadas, obteniéndose porcentajes de peso perdido de 2,88 %, en 70 días de incubación.

La presencia de micromicetos con capacidad degradadora, a partir de polietileno con biopelículas, obtenidas del botadero de Haquira, Cusco, fue realizada por Gessa & Peralta (2013), lográndose aislar 9 cepas de micromicetos en medio sólido extracto de malta, de los géneros *Fusarium* (05), *Rizophus* (01), *Chaetomium* (01), con capacidad degradativa, incubados a 26° C durante 7 semanas, en medio sólido Czapek - Doc, evidenciándose un crecimiento utilizando polietileno como único suministro de carbono.

En la presente investigación se determinó la efectividad de hongos filamentosos degradadores de polietileno de baja densidad, aislados de plásticos presentes en el botadero del distrito de Sicuani, Cusco -Perú, con el objetivo de reducir la presencia de grandes cantidades de residuos plásticos en los botaderos de esa región, que actualmente contaminan los recursos hídricos y el suelo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó, con muestras de restos plásticos colectados en el botadero controlado de Chacuchayoc-pata, ubicado dentro del área perteneciente a la comunidad de Pampaphalla del sector cerro Joruro, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, Cusco, ubicado a 3998 msnm a una distancia aproximada de 4 km del centro poblado del distrito de Sicuani (ECRSM, 2019), la zona presenta un clima templado a semiseco con periodos lluviosos

de diciembre a marzo (Plan de desarrollo concertado de la provincia de Canchis, 2013-2023). La evaluación de la degradación del LDPE fue realizada de acuerdo con el siguiente flujograma

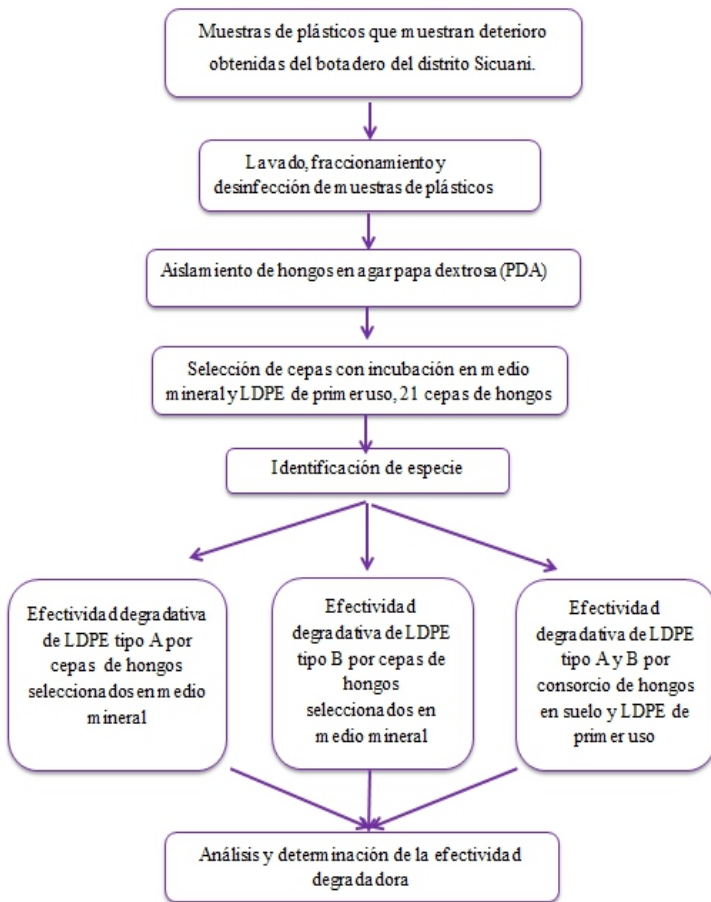


Figura 1. Flujograma de la evaluación de la degradación del LDPE

El muestreo se realizó en un área de acceso de 25 m² donde se tomaron restos de bolsas de plásticos con signos de deterioro, se colocaron muestras representativas en frascos, y luego fueron llevadas y procesadas en laboratorio de Ecología de la UNSAAC.

Aislamiento de hongos filamentosos degradadores de LDPE.

Las muestras fueron lavadas a chorro de agua, se cortaron en trozos pequeños y fueron desinfectadas, con alcohol al 70% por 30 segundos, posteriormente puestas en lejía al 3% por 30 segundos, seguidamente fueron enjuagadas por tres veces con agua destilada. Luego se procedió a sembrar en agar PDA, con extracto de levadura al (3 %) y antibiótico, para finalmente ser incubadas a 25°C.

Después de 10 días de incubación, se realizó otra siembra; con el propósito de conseguir cultivos puros de hongos, empleando agar PDA bajo las mismas condiciones, una vez

obtenida las cepas purificadas se procedió a conservar a 4°C en viales con agar PDA.

Selección de cepas degradadoras de LDPE en medio mineral.

El experimento para la selección de cepas se realizó por el principio de la actividad degradadora sobre el polietileno de baja densidad; procedimiento descrito por Kavelman & Kendrick, (1978) modificado por Méndez et al., (2007) y Uribe et al., (2010). Obteniendo una esporada de 10⁸, esporas/mL, recorte de láminas de LDPE de los dos tipos, pesadas e incorporada a los frascos de 50 mL de medio con sales minerales esterilizados, con tratamiento triplicado más el control, e incubadas a 25°C, por 45 días. Se procedió con el lavado, desinfección, observación al microscopio, pesado de las láminas y determinación del porcentaje de peso perdido.

Identificación taxonómica de hongos filamentosos degradadores de LDPE.

Para la identificación de especies se utilizó el Manual de guía de laboratorio descrito por Klich & Pitt, (1990).

Determinación de la efectividad degradativa de hongos filamentosos sobre LDPE en medio de sales minerales.

Fueron determinadas por la técnica de Kavelman & Kendrick, (1978), modificado por Méndez et al., (2007) y Uribe et al., (2010). Obteniendo una esporada de 10⁸ esp/mL, recorte de láminas de LDPE de los dos tipos, pesadas e incorporada a los frascos de 100 mL de medio con sales minerales esterilizados, con tratamiento triplicado más el control, e incubadas a 25°C, por 3 meses. Se procedió con el lavado, desinfección, pesado de las láminas y determinación del porcentaje de peso perdido.

Determinación de la efectividad degradativa de consorcio de hongos filamentosos sobre LDPE en el suelo.

Se determinaron mediante la técnica de Kavelman & Kendrick, (1978), modificado por Méndez et al., (2007) y Uribe et al., (2010). El experimento de suelos se realizó en el Invernadero de la UNSAAC, en Cusco. Para la obtención de esporada, se utilizó la misma metodología de selección de cepas degradadoras de LDPE, las muestras se cortaron en láminas de 1cm x 1cm de LDPE, muestra A (transparente) y muestra B (color blanco), que fueron pesadas e incorporados a cada cubeta. La formación de consorcios se realizó para la evaluación de la efectividad, formándose tres (3) consorcios de cepas de hongos que degradan de acuerdo a los siguientes criterios:

- Cepas que tuvieron una media de degradación superior a 5 %
- Cepas que tuvieron una media de degradación inferior 5 %
- Mezcla de todas las cepas degradadoras.

Métodos para la determinación de biodegradación

Método gravimétrico.

A través de la variabilidad de peso en las muestras de LDPE, para determinar la actividad metabólica de los microorganismos (Shah, et al, 2008). Las muestras fueron pesadas, la variación y porcentaje de degradación se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Degradacion} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \times 100$$

Donde :

P₀ = peso inicial y P₁ = peso final

Método de análisis en Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier.

Nos permite identificar de qué tipo de grupos funcionales está compuesta una molécula, los fotones de radiación infrarroja son absorbidos por los enlaces de una sustancia o molécula en estudio, pasando a niveles vibracionales superiores, y cada tipo de enlace absorbe radiación infrarroja a una frecuencia distinta en forma cualitativa y cuantitativa, utilizando la región del infrarrojo, con valores de 4000-400 cm⁻¹ de frecuencia (Wade, 2004).

Método de análisis en Microscopio Electrónico de Barrido.

El cual cuenta con un cañón de emisión de campo, donde se ubica un cátodo de Tungsteno, que emite haces de electrones para iluminar la muestra. En la interacción del haz electrónico con la superficie se producen electrones secundarios, tras ser captados por un detector, crea una imagen que refleja las características superficiales de la muestra, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes (Egas, 1998).

Análisis estadísticos de los datos

Los datos fueron ordenados y sometidos a pruebas estadísticas de análisis de varianza (ANOVA), que permite analizar el efecto de uno o más factores para variables cuantitativas dependientes, en la que cada tratamiento puede tener varias observaciones o una única observación. Así mismo, se realizan las pruebas de comparaciones múltiples de medias (prueba de Tukey), para determinar cuáles de ellos son estadísticamente diferentes (Fallas, 2012), se utilizó el paquete estadístico SPSS – 22.

Resultados y discusión

Se aislaron 21 cepas de hongos filamentosos que se colectaron de restos de plásticos con signos de deterioro del botadero de Chacuchayocpata – Sicuani (tabla 1).

Tabla 1. Cepas de hongos filamentosos aislados de restos de plásticos del botadero de Sicuani.

Nº de cepas	Codificación	Nº de cepas	Codificación
1	Sic - 001	12	Sic - 012
2	Sic - 002	13	Sic - 013
3	Sic - 003	14	Sic - 014
4	Sic - 004	15	Sic - 015
5	Sic - 005	16	Sic - 016
6	Sic - 006	17	Sic - 017
7	Sic - 007	18	Sic - 018
8	Sic - 008	19	Sic - 019
9	Sic - 009	20	Sic - 020
10	Sic - 010	21	Sic - 021
11	Sic - 011		

El género *Aspergillus* con 03 cepas de *Aspergillus flavus* y el género *Penicillium* con 05 cepas: 03 de *Penicillium chrysogenum*, 01 *Penicillium brevicompactum*, y 01 especie de *Penicillium viridicatum*.

Tabla 2. Determinación de especies de género de hongos filamentosos

Genero	Sub Genero	Sección	Especie	Cepas
<i>Aspergillus</i>			<i>A. flavus</i>	Sic - 008
			<i>A. flavus</i>	Sic - 009
			<i>A. flavus</i>	Sic - 018
<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium</i>		<i>P. brevicompactum</i>	Sic - 004
		<i>Chrysogena</i>	<i>P. chrysogenum</i>	Sic - 015
		<i>Viridicata</i>	<i>P. viridicatum</i>	Sic - 016
		<i>Chrysogena</i>	<i>P. chrysogenum</i>	Sic - 020
		<i>Chrysogena</i>	<i>P. chrysogenum</i>	Sic - 021

Como podemos ver en la tabla 02, las especies aisladas son similares a lo reportado por Gutiérrez, (2013), que aisló *Aspergillus fluvus*, además de *Penicillium sp.*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium sp.*, *Gliocladium virens*.

En cuanto a la determinación de géneros y numero de cepas nuestros resultados, son similares a (Méndez, *et al.*, 2007), quienes aislaron *Aspergillus* (06 cepas), *Penicillium* (03 cepas), además de *Cladosporium* (02), *Geotrichum* (01), *Mucor* (01), *Helminthosporium* (02), *Chaetomium* (01), *Fusarium* (01), *Hormodendrum* (01), *Cephalosporium* (01) y *Nigrospora* (01). Similares también a los de (Gessa y Peralta, 2013) quienes aislaron *Penicillium* (02), además de *Fusarium* (05), *Rizophus* (01), y *Chaetomium* (01).

La predominancia en el aislamiento del género *Penicillium* se debe a que es un colonizador permanente del suelo y desempeña un papel importante en el desdoblamiento de diferentes sustratos; así mismo su comportamiento como

saprophyte le permite permanecer siempre en el suelo, en comparación con las otras especies de hongos que sólo crecen y se desarrollan en ciertas épocas del año, principalmente cuando el suelo presenta humedad como lo indica (Agrios, 2001; Cibrián et al, 2007). De igual forma la predominancia en el aislamiento de *Aspergillus*, probablemente sea porque este género se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, pudiéndose aislar de una gran variedad de sustratos, gracias a la facilidad de dispersión de sus conidios y a su pequeño tamaño, y además éstos pueden permanecer en suspensión en el ambiente durante un largo periodo de tiempo como lo menciona (Abarca, 2000).

La prueba F en ANOVA, con una significancia de 0.05, indica que existe efecto significativo de las medias de la variable cepas ($p_{\text{value}} < 0.05$) y tipo de LDPE ($p_{\text{value}} < 0.05$), frente al factor de respuesta (porcentaje de pérdida de peso de LDPE o degradación de LDPE). Así mismo en la interacción cepa tipo de LDPE existe diferencia significativa entre las medias ($p_{\text{value}} < 0.05$), mostrados en la Tabla N° 3

Tabla 3. Selección de las cepas de hongos filamentosos involucradas en la degradación de LDPE.

Degradación de LDPE (%), DHS de Tukey para cada subconjunto						
Cepas	N	1	2	3	4	5
Sic - 011	6	-2.16				
Sic - 013	6	-2.05				
Control	6	-1.85				
Sic - 002	6	-0.58	-0.58			
Sic - 019	6	-0.50	-0.50	-0.50		
Sic - 017	6	-0.44	-0.44	-0.44		
Sic - 010	6	-0.18	-0.18	-0.18		
Sic - 001	6	-0.03	-0.03	-0.03		
Sic - 003	6	0.18	0.18	0.18	0.18	
Sic - 012	6	0.94	0.94	0.94	0.94	
Sic - 006	6	1.21	1.21	1.21	1.21	
Sic - 014	6	1.44	1.44	1.44	1.44	
Sic - 005	6	1.84	1.84	1.84	1.84	
Sic - 007	6	2.28	2.28	2.28	2.28	
Sic - 021	6	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93
Sic - 004	6	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04
Sic - 015	6	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09
Sic - 009	6		10.09	10.09	10.09	10.09
Sic - 016	6			10.35	10.35	10.35
Sic - 020	6				10.87	10.87
Sic - 018	6					13.16
Sic - 008	6					13.54
Alfa = 0.05						

Se observa la degradación de LDPE por hongos filamentosos, de las cuales se seleccionaron 08 cepas consideradas mejores degradadores de LDPE, según Tukey, con un nivel de significancia del $p_{\text{value}} < 0.05$. La cepa Sic - 08 fue la que presento mayor degradación con 13.54 %, seguida de Sic - 18 con 13.16 %, y la Sic - 20 con 10.87 %.

La prueba de ANOVA, indica que existe efecto significativo de las medias de la variable cepas ($p_{\text{value}} < 0.05$) y tipo de LDPE ($p_{\text{value}} < 0.05$) frente al factor de respuesta (porcentaje de degradación de LDPE). En cuanto a la interacción cepa tipo de LDPE, si existe diferencia significativa entre las medias ($p_{\text{value}} < 0.05$).

Tabla 4. Efectividad de degradación de LDPE por hongos filamentosos en medio mineral.

Efectividad de degradación de LDPE (%) DHS de Tukey				
Cepas	N	1	2	3
Control	6	-2.11		
Sic - 021	6	2.43	2.43	
Sic - 015	6	3.28	3.28	
Sic - 004	6		3.64	
Sic - 009	6		4.05	
Sic - 016	6		4.26	
Sic - 020	6		6.16	
Sic - 008	6			12.19
Sic - 018	6			12.98
	Pvalue	0.07	0.44	1.00

La efectividad de degradación del LDPE obtenido en el presente trabajo (tabla 4) difiere con lo reportado por (Espinoza, 2018), quien evidenció a *Fusarium* como la más apta para degradar LDPE, mostrando pérdida de peso con una media de 0.99% +/- 0.11%, cultivadas durante 90 días, a su vez evidencio a *Aspergillus* con actividad satisfactoria, pero en menor grado.

Los resultados del presente trabajo se asemejan a lo reportado por (Méndez, et. al., 2007), quienes de forma cualitativa obtuvieron que *Aspergillus flavus* es buena degradadora (+++) a 30 °C y pH 8, y de regular actividad (++) a 20 °C y pH 8, por 10 semanas. Por otro lado (Gutiérrez, 2013) obtuvo una pérdida de peso de LDPE, promedios de 5.88% a pH 7 y 8.33% a pH 5 sin agitación, 18.12% a pH 5 con agitación, alcanzando un valor máximo de 19.32%.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en cuanto a la disminución de peso de LDPE, probablemente se deba a que el LDPE tiene una estructura desordenada con grandes ramificaciones y pueden romperse los enlaces C - C en la cadena principal, lo que produce la ruptura de la cadena polimérica, es así que se produce una disminución de peso (Volke, 1997). En cuanto a la presencia de hongos filamentosos y su actividad sobre LDPE, quizá se deba a que son colonizadores activos de los polímeros debido a su capacidad para producir polímeros exocelulares, considerando que tal adhesión a la superficie de los sustratos es un paso decisivo en la corrosión microbiana (Whitekettle,

1991; Mielstein, et al., 1992). O puede ser consecuencia del proceso de oxidación lo que causa erosión superficial y pérdida de material (Albertson, Barenstedt, y Karlsson, 1995).

Se observa la efectividad de degradación de las cepas de los hongos filamentosos seleccionadas, considerando a dos cepas (Sic – 008 y Sic – 018) como mejores degradadores de LDPE, según Tukey con un nivel de significancia del (0.05). La cepa Sic - 018 alcanzó una mayor efectividad con 12.98 %, seguido de la cepa Sic – 008, con una efectividad de 12.19 %, tal como se muestra en la Tabla 4.

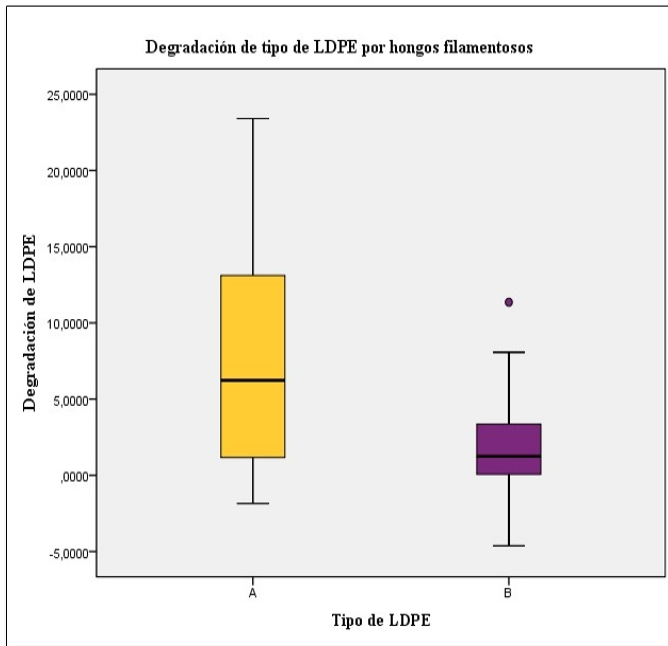


Figura 2. Gráfico de cajas de la efectividad degradativa según tipo de LDPE.

Tal como se observa en la Figura 2, la efectividad degradativa sobre dos tipos de LDPE, por efecto de cepas de hongos filamentosos, la tipo A de LDPE, presenta mayor efectividad degradativa por parte de los hongos filamentosos.

Los hongos filamentosos degradan con mayor efectividad el LDPE tipo A, con un promedio de 8.46 %, y el LDPE tipo B con un menor porcentaje de 1.95%. En cuanto al tipo de LDPE, los dos tipos (A y B) son de material suave, transparente, flexible y tiene un elevado peso molecular (Domínguez, 2009), y la poca eficiencia sobre LDPE tipo B quizá se deba a que estas están reforzados con aditivos para tener resistencia a la acción de la temperatura, rayos UV, etc., como lo indica (Posada, 2012).

De acuerdo a los seis espectros de FTIR de LDPE de tipo A (1 espectro control y 5 espectros por efecto de las cepas de hongos filamentosos), se establece que existen bandas diferenciadas y características de LDPE, correspondientes a enlaces C-H (2916 y 2849) cm^{-1} , -CH₂- (1472 y 1462) cm^{-1} , -CH₂- (730 y 719) cm^{-1} ; a diferencia del control.

Del mismo modo, en los tres espectros de FTIR de LDPE tipo B (1 espectro control y 2 espectros por efecto de hongos filamentosos), es posible establecer características

diferenciadas LDPE, como los enlaces C-H (2916 y 2849) cm^{-1} , -CH₂- (1472 y 1462) cm^{-1} , -CH₂- (730 y 719) cm^{-1} ; a diferencia del control. En el espectro de la cepa sic – 20 se observa pico adicional en 1716 cm^{-1} , atribuido a bandas de carbonilo (C = O) de cetonas, aldehídos o ácidos carboxílicos, actividad producida por enzimas extracelulares de hongos filamentosos, que consumen las fracciones de las cadenas de carbono oxidadas para formar bióxido de carbono, agua y biomasa.

Las microfotografías de LDPE tipo A, (figura 3), se, observa hifas de hongos adheridos a la superficie de LDPE, prueba del ataque producido por hongos, ya que estas muestras fueron lavadas previas a la observación.

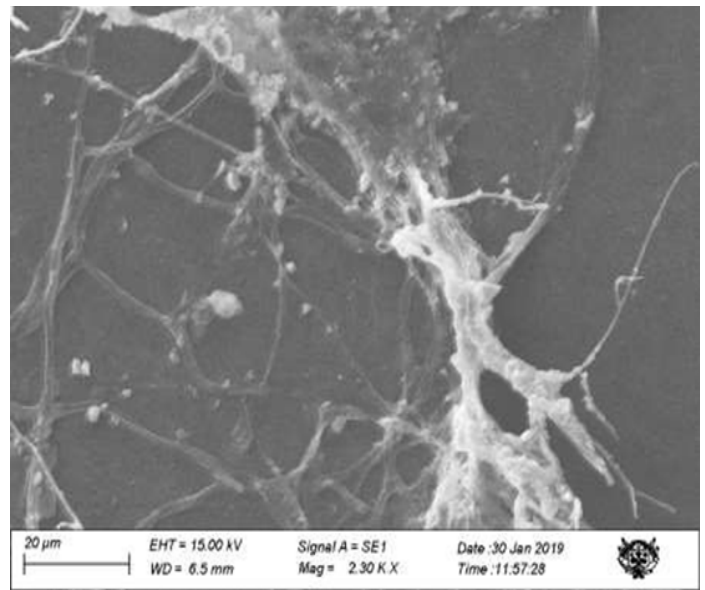


Figura 3. Fotomicrografía de LDPE tipo A, 2300X.

En las microfotografías de LDPE tipo B, (figura 4) , se puede observar algunas esporas adheridas en la superficie del LDPE.

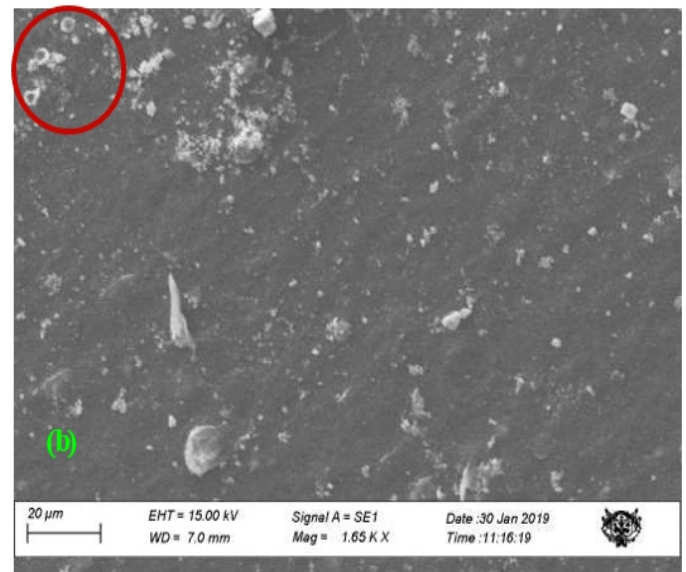


Figura 4. Fotomicrografía de LDPE tipo B, 1650 X.

Conclusiones

A partir de las evaluaciones se logró identificar cuatro especies de hongos filamentosos aislados de restos de plásticos degradadores de polietileno de baja densidad, como *Aspergillus flavus*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium brevicompactum* y *Penicillium viridicatum*. Asimismo, se logró determinar la efectividad de hongos filamentosos que degradan polietileno de baja densidad en medio mineral, en la que las cepas Sic – 018 y Sic – 008 que pertenecen a la especie *Aspergillus flavus*, fueron las mejores degradadoras con 12.98 % y 12.19 % respectivamente. Además los hongos degradan con mayor eficiencia el LDPE tipo A (transparente e incoloro). En FTIR, fue posible observar cambios en LDPE por la actividad enzimática de hongos filamentosos, y mediante SEM, se observaron estructuras fúngicas adheridas a la superficie de LDPE.

De otro lado, se determinó la efectividad de consorcio de hongos filamentosos en suelo, en los que los tres consorcios tienen la misma efectividad degradativa con un promedio de 3.59 % de degradación sobre LDPE al 95 %. En FTIR, fue posible determinar cambios en LDPE por la actividad enzimática oxidativa de consorcios de cepas filamentosos, con el aumento de bandas en la región de carbonilo C=O y C-O de aldehídos, cetonas, ácido carboxílico y ésteres. A través de SEM, fue posible apreciar esporas fúngicas adheridas a la superficie de LDPE.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), por el financiamiento a través del convenio CONCYTEC – UNSAAC, según contrato de subvención N° E053 - 2017- UNSAAC – 02 “Tesis título profesional”, de igual manera a la Municipalidad Provincial de Canchis por el permiso y las facilidades que nos brindaron en la etapa de campo.

Literatura citada

- Abarca, L., (2000). *Taxonomía e identificación de especies implicadas en la Aspergilosis nosocomial*. Departamento de Sanidad y Anatomía Animal (Microbiología), Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona). Revista Iberoamericana de Micología Apdo. 699, E-48080 Bilbao (Spain). 1130-1406.
- Albertsson, A. C., Barenstedt, C., Karlsson, S. y Lindberg, T. (1995). *Degradation product pattern and morphology changes as means to differentiate abiotically and biotically aged degradable polyethylene*. *Polymer*; 36, 3075-3083.
- Bejar, V. R., Cardenas, K. J., Mendez, C. R., y Vergaray, G. (2007). *Aislamiento de Micromicetos biodegradadores de polietileno* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Carrasco, F. (1991). *Residuos plásticos; reciclaje y medio ambiente*, ingeniería química. 181- 185p.
- Comisión técnica plastivida (1998). *Manual de valorización de los residuos plásticos*, edit. FIPMA y plastivida Argentina, Buenos aires, Argentina, 83pp.
- Cibrián, T. D., Alvarado, R. D., y García, D. S., (2007). *Enfermedades forestales en México*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Domínguez, O. L., Ramos, M., Sánchez, A., Manzano, A. M., Argüelles, J., Sánchez, M. I., y Guerra, G., (2011). *Degradación biológica de contaminantes orgánicos persistentes por hongos de la podredumbre blanca*
- Egas, R., (1998). *Microscopia electrónica: Fundamentos. Teoría y Aplicaciones*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Espinoza, A. L., (2018). *Evaluación de la degradación de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos*. Tesis de Título profesional. Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito, Ecuador.
- ECRSM, (2019). *Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales*. Municipalidad Provincial de Canchis – Gerencia de gestión ambiental.
- Fallas, J., (2012). *Análisis de varianza comparando tres o más medias*. www.ucipfq.com/MGAP > complementarias > análisis de varianza 2012.
- Gessa G, A., y Peralta C, L. (2013). *Micromicetos de Biopelículas en Polietileno del Botadero de Haqira y su acción degradadora*, (Seminario de Investigación) Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- Greenpeace, (2019) *¿Cómo llega el plástico a los océanos y que sucede entonces?* <https://es.greenpeace.org/trabajamos-en/consumista/plásticos>.
- Gutiérrez, E.J., (2013). *Biodegradación de polietileno de baja densidad por consorcios microbianos*. Tesis de Título Profesional. Universidad Nacional Autónoma. México.
- Gutiérrez, A. A., (2019) *Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad Utilizando Hongos, Bacterias y Consorcios Microbianos Aislados del Botadero Municipal de Tacna*. Tesis título profesional. Tacna, Perú.
- Kavelman, R, y Kendrich, B., (1978). *Degradation of a plastic, poly-epsilon, caprolactone by Hyphomycetes*, Waterloo, Ontario, Canadá. Universidad de Waterloo.
- Klich, M. A., & Pitt, J. L., (1988). *A laboratory guide to common Aspergillus species and their teleomorphs*.
- Méndez C, Vergaray G., Béjar V., y Cárdenas K. (2007). *Aislamiento y Caracterización de Micromicetos Biodegradadores de Polietileno*. Rev. Perú. B i o l . 1 3 (3) : 2 0 3 - 205. www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n3/v13n03a08.2016.
- Milstein, O., Gersonde, R., Huttermann, A., Chen, M. J., & Meister, J. J. (1992). *Fungal biodegradation of lignopolystyrene graft copolymers*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58(10), 3225-3232.
- Moreno, Z., (2000). *Correlación de la tasa de crecimiento radial y la tasa de crecimiento específico de hongos filamentosos aislados de la planta Espeletia Barclaya*. Microbiología Industrial. Pontificia Universitaria Jveriana, Facultad de Ciencias Bogotá. 133p.
- Morton, L. H. G., (1996). *The involvement of biofilms in biodeterioration processes*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1(37), 126.

- Ojeda, T. F., Dalmolin, E., Forte, M. M., Jacques, R. J., Bento, F. M., y Camargo, F. A. (2009). *Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes*. *Polymer degradation and stability*, 94(6), 965-970.
- ONU, (24 agosto 2018). *Organización de las naciones unidas*. Programa para el medio ambiente. Un problema doble: El plástico también emite potentes gases de efecto invernadero. www.unenvironment.org > [noticias-y-reportajes](#) > [un problema](#).
- ONU (15 Marzo 2019) Organización de las naciones unidas. Noticias: Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso. <https://news.un.org> > story > 2019
- PDCPC, (2013). *Plan de desarrollo concertado de la provincia de Canchis*. www.municanchis.gob.pe > descargas > PDC > PDC-2013-2023.
- Posada, B. B., (2012). *Degradación de los plásticos*. *Rev. Uni. EAFIT*. Vol 30. N°94, 67- 86 pp.
- Sánchez, L. M., y Guerra, R. G., (2011). *Degradación biológica de contaminantes orgánicos persistentes por hongos de la podredumbre blanca*. *Revista CENIC. Ciencias biológicas*, 42(2), 51-59.
- Shah, A. A., Hasan, E., Hameed, A., y Ahmed, S., (2008). *Degradación biológica de los plásticos: Una revisión exhaustiva*. *Avances en biotecnología*, 26 (3), 246-265.
- Uribe, D., Giraldo, D., Gutiérrez, S. y Merino, F. (Abril del 2010). *Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario*. *Lima, Perú*. *Rev. Perú. Biol.* 17(1) : 133 - 136. www.scielo.org.pe/pdf/rpb/vl7nl/al7vl7nl.pdf
- Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., y Gowda, A. N., (2016). *Toxic pollutants from plastic waste-a review*. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701-708. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>
- Volke, T. (1997). *Efecto de tratamientos fisicoquímicos y cometabolismo en la degradación de polietileno de baja densidad por hongos filamentosos*, (Tesis de doctorado). Universidad autónoma metropolitana, Iztapalapa, México.
- Wade, L. G., (2004). *Química Orgánica*. Madrid, España: Pearson Educación, S. A. 5ta Edición.
- Whitekettle, W. K. (1991). *Effects of surface-active chemicals on microbial adhesion*. *Journal of industrial microbiology*, 7(2), 105-116.