

DOI : <https://doi.org/10.18359/rcin.7139>



Biodegradación de polietileno de baja densidad en suelo con hongos del género *Aspergillus* sp.*

Marcela Flórez Córdoba^a ■ Melissa Correa Álvarez^b ■ Santiago Hidalgo López^c
■ Fidel Granda Ramírez^d ■ Laura Osorno Bedoya^e

Resumen: Los plásticos constituyen uno de los principales problemas de contaminación ambiental por su manejo y disposición inadecuada, generando así amenazas e impactos negativos en el medio ambiente. El objetivo de este trabajo fue analizar la biodegradabilidad de polietileno de baja densidad (LDPE) con hongos del género *Aspergillus* sp., en suelo, durante dos periodos de tiempo (30 y 60 días) y dos calibres (0,45 mm y 0,90 mm). Las cepas usadas fueron *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* y *Aspergillus flavus*, de manera individual y combinada, a una concentración de 1x10⁷ esporas/mL, inoculando en macetas con 100 g de suelo estéril y muestras de LDPE de 4 cm² y 25 cm², según diseño experimental. Los resultados revelaron que la mayor degradación del LDPE se alcanzó con el calibre de 0,45 mm y una muestra de 25 cm², cuando se empleó el consorcio de los tres hongos, obteniendo una tasa de degradación del 18,45 %, en comparación con la muestra de 4 cm², la cual registró un valor de 16,10 % de degradación, ambas en 60 días. En el caso del calibre de 0,90 mm y una muestra de 25 cm², el mismo consorcio de *A. niger* + *A. fumigatus* + *A. flavus* demostró la máxima degradación con un valor del 0,34 % en 60 días. Por lo anterior, los hongos del género *Aspergillus* sp. muestran un potencial para degradar plásticos en suelo, y son una alternativa biotecnológica que puede contrarrestar el efecto medioambiental producido por el inadecuado manejo de los residuos plásticos.

Palabras clave: degradación; contaminación; microorganismo; porcentaje de degradación; plástico

Recibido: 10/12/2023. **Aceptado:** 28/02/2024. **Disponible en línea:** 30/06/2024.

Cómo citar: M. Florez Córdoba, M. Correa Álvarez, S. Hidalgo López, F. Granda Ramírez, y L. Osorno Bedoya, «Biodegradación de polietileno de baja densidad en suelo con hongos del género *Aspergillus* sp.», Cien.Ing.Neogranadina, vol. 34, n.º 1, pp. 57-66.

* Artículo de investigación.

- a** Ingeniera ambiental, egresada de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: mflorez@est.colmayor.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3147-6244>
- b** Ingeniera ambiental, egresada de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: mcorrea@est.colmayor.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5449-4550>
- c** Ingeniero ambiental, egresado de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: shidalgol@est.colmayor.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9091-3921>
- d** Doctor en ingeniería. Ingeniero químico. Docente ocasional de tiempo completo en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: carlos.granda@colmayor.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6227-2947>
- e** Doctora en biotecnología. Magíster en ciencias del suelo. Ingeniera biológica. Docente ocasional en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: laura.osorno@colmayor.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7122-0930>

Biodegradation of Low-Density Polyethylene in Soil with Fungi of the Genus Aspergillus Sp.

Abstract: Plastics constitute one of the main problems of environmental pollution due to their inadequate handling and disposal, thus generating threats and negative impacts on the environment. The objective of this work was to analyze the biodegradability of low-density polyethylene (LDPE) with fungi of the genus *Aspergillus* sp., in soil, for two periods of time (30 and 60 days) and two gauges (0.45 mm and 0.90 mm). The strains used were *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*, and *Aspergillus flavus*, individually and combined, at a concentration of 1×10^7 spores/mL, inoculating in pots with 100 g of sterile soil and LDPE samples of 4 cm² and 25 cm², according to the experimental design. The results revealed that the highest degradation of LDPE was achieved with the gauge of 0.45 mm and a sample of 25 cm² when the consortium of the three fungi was used, obtaining a degradation rate of 18.45 %, compared to the 4 cm² sample, which recorded a value of 16.10 % degradation, both in 60 days. In the case of the gauge of 0.90 mm and a sample of 25 cm², the same consortium of *A. niger* + *A. fumigatus* + *A. flavus* demonstrated the maximum degradation with a value of 0.34% in 60 days. Therefore, fungi of the genus *Aspergillus* sp. show potential for degrading plastics in soil and are a biotechnological alternative that can counteract the environmental effect produced by the inadequate management of plastic waste.

Keywords: Degradation; Pollution; Microorganism; Degradation Percentage; Plastic

Biodegradação de polietileno de baixa densidade em solo com fungos do gênero Aspergillus sp.

Resumo: Os plásticos constituem um dos principais problemas de poluição ambiental devido ao seu manejo e disposição inadequados, gerando ameaças e impactos negativos no meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi analisar a biodegradabilidade do polietileno de baixa densidade (LDPE) com fungos do gênero *Aspergillus* sp., no solo, durante dois períodos de tempo (30 e 60 dias) e duas espessuras (0,45 mm e 0,90 mm). As cepas usadas foram *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* e *Aspergillus flavus*, de forma individual e combinada, a uma concentração de 1×10^7 esporos/mL, inoculando em vasos com 100 g de solo estéril e amostras de LDPE de 4 cm² e 25 cm², conforme o desenho experimental. Os resultados revelaram que a maior degradação do LDPE foi alcançada com a espessura de 0,45 mm e uma amostra de 25 cm², quando se utilizou o consórcio dos três fungos, obtendo uma taxa de degradação de 18,45 %, em comparação com a amostra de 4 cm², que registrou um valor de 16,10 % de degradação, ambas em 60 dias. No caso da espessura de 0,90 mm e uma amostra de 25 cm², o mesmo consórcio de *A. niger* + *A. fumigatus* + *A. flavus* demonstrou a máxima degradação com um valor de 0,34% em 60 dias. Por isso, os fungos do gênero *Aspergillus* sp. mostram um potencial para degradar plásticos no solo, sendo uma alternativa biotecnológica que pode contrabalançar o efeito ambiental produzido pelo manejo inadequado dos resíduos plásticos.

Palavras-chave: degradação; poluição; micro-organismo; percentual de degradação; plástico

Introducción

El uso del polietileno de baja densidad (LDPE por sus siglas en inglés) crece exponencialmente con la población, la economía y las actividades de producción, debido a su versatilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia y bajo valor monetario. Por estas características y su resistencia a la degradación, sus desechos constituyen un problema de contaminación ambiental por el manejo y disposición inadecuada, generando amenazas e impactos negativos al medio ambiente [1].

Los desechos plásticos contribuyen entre el 10 y el 13 % de los residuos sólidos urbanos a nivel mundial, en forma, principalmente, de botellas, bolsas, materiales de empaque, recipientes, vasos y tapas, entre otros [2]. Una alta cantidad de estos LDPE llegan a los ecosistemas terrestres, contaminando los suelos, lo que puede causar efectos negativos para el medio ambiente y la salud humana [3], debido a la dificultad de su degradación de forma natural [4, 5], ya que esta puede tardar entre 50 y 400 años [6].

El LDPE derivado del petróleo está constituido por moléculas complejas de polímeros de cadenas de carbono e hidrógeno, las cuales son resistentes a las condiciones climáticas y a la actividad biológica; representa un riesgo cuando queda expuesto en el ambiente, porque afecta de manera directa o indirecta los ecosistemas y al ser humano [7].

Una alternativa para los suelos contaminados con plástico es el uso de estrategias biotecnológicas, las cuales han permitido avanzar en procesos de biodegradación con el uso de microorganismos. Estos bioprocesos presentan un creciente interés, debido a la ineficiencia de los métodos químicos y físicos de eliminación, y a los problemas ambientales como la contaminación y la degradación de los ecosistemas, y a los efectos en la vida silvestre [8, 9]. Los microorganismos del suelo tienen la capacidad de degradar la superficie de los plásticos para obtener fuente de carbono [10, 11,12]; en el caso de las bacterias, se han reportado *Rhodococcus* sp., *Bacillus* sp. [13] y *Pseudomonas citronelloi* con capacidad de degradación hasta del 17,8 % [14].

Los hongos también han demostrado un gran poder para degradar plásticos, al crear enlaces

químicos para formar grupos funcionales, tales como los carbonilo, carboxilo y éster, los cuales tienen la capacidad de debilitar la hidrofobicidad del material [15]. Alguno de los hongos reportados son *A. alternata*, *A. versicolor*, *A. fumigatus*, *Mucor* sp. y *B. sorokiniana*, que biodegradan el tereftalato de polietileno (PET) [16]; *A. niger*, *A. violaceofuscus*, *A. fumigatus*, *A. alternata*, *A. flavus*, *P. purpurogenum*, *P. chrysogenum*, *Mucor* sp., *Fusarium* sp. [17] y *T. harzianum*; este último degradó bolsas de polietileno con un 40 % de pérdida de peso [18].

El propósito de este trabajo es evaluar la biodegradabilidad del polietileno de baja densidad (LDPE), en suelo, utilizando hongos del género *Aspergillus* sp. durante dos periodos de tiempo y dos calibres.

El aporte de esta investigación a la ingeniería se basa en la evaluación de procesos biotecnológicos mediados por hongos del suelo, para generar un impacto ambiental al biodegradar un residuo altamente contaminante en los ecosistemas.

Materiales y métodos

Experimental

Se tomó una muestra de suelo (Andisol), a una profundidad de 0-20 cm, correspondiente a un horizonte A, en Rionegro, Antioquia, a la cual se le retiraron raíces y rocas, se secó al aire por cinco días, luego se pasó por un tamiz número 10, para obtener una muestra homogénea. Este suelo se caracterizó así de manera fisicoquímica: textura (%) (arena, limo y arcilla, Bouyoucos) [19]; materia orgánica (%) por ignición [20]; el pH en una relación 1:2 suelo: agua; capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) por suma de cationes [21]; fósforo, Bray II [25]; Fe, Mn, Cu y Zn, Olsen-EDTA [22]. Además, se midió la máxima capacidad de retención de agua (%) y se regó con solución nutritiva Hoagland [23]. El suelo se esterilizó en autoclave durante una hora a 121 °C, 103,4 KPa. Finalmente se sirvieron 100 g de suelo seco en macetas de aluminio estériles.

Se usaron dos calibres de LDPE, 0,45 mm y 0,9 mm, los cuales se cortaron con láser para obtener muestras de 4 cm² y 25 cm². Posteriormente,

fueron sometidas a un pretratamiento de desinfección con etanol al 70 %, luego sumergidas en 200 mL de agua desionizada estéril durante 10 minutos y, por último, se llevaron a un desecador a una temperatura de 20 °C y a una humedad de saturación del aire de 48 % durante 24 horas. Una vez secas las muestras se pesaron en balanza analítica y se dispusieron en las macetas con suelo estéril.

Las cepas de *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus* y *A. niger* provienen de la “Colección del laboratorio de microbiología de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín”, las cuales se cultivaron por separado en medio PDA (Papa Dextrosa Agar), durante cinco días, a 37 °C; luego se realizó una suspensión de esporas y micelio en agua destilada estéril, con el fin de obtener el inóculo para cada uno de los hongos, de la cual se tomaron 4 mL con una concentración de 1×10^7 UFC/mL [24] de cada suspensión, para inocular las macetas con las muestras de LDPE.

Se empleó un diseño experimental factorial asimétrico, en el que se consideraron cuatro factores: cepa, tamaño, calibre del LDPE y tiempo de degradación. Para el factor cepa se incorporaron cinco niveles, cada hongo de manera individual: *Aspergillus flavus* (AF), *Aspergillus niger* (AN), *Aspergillus fumigatus* (AG), un consorcio de las tres cepas y una muestra no inoculada como control. En cuanto al factor tamaño del LDPE se evaluaron dos áreas de 4 cm² y 25 cm², mientras que el factor calibre incluyó dos niveles de 0,45 mm y 0,9 mm. Por último, en el factor tiempo se consideraron dos intervalos: 30 y 60 días. Cada ensayo se realizó por triplicado.

Al finalizar la degradación, las muestras de LDPE se lavaron con etanol al 70 % y se introdujeron en agua destilada estéril durante 15 minutos,

luego se secaron en un desecador durante 24 horas. Finalmente, se pesaron para estipular el porcentaje de biodegradabilidad mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ biodegradabilidad} = \left(\frac{m_o - m_f}{m_o} \right) * 100 \quad [1]$$

Donde, m_o : masa inicial (g) de las muestras de polietileno de baja densidad, y m_f : masa final (g) de las muestras de polietileno de baja densidad.

Se realizó un Anova con un $p < 0,5$, y una prueba de diferencia de medias por Duncan, Statgraphic Centurion XVI.

Resultados y discusión

El resultado fisicoquímico del suelo se puede ver en la tabla 1. Según los resultados del suelo, el pH está en el rango de biodisponibilidad de los nutrientes para los hongos, sin presencia de Al, que puede ser tóxico, con una textura franco arenosa.

El porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LDPE) con los hongos, utilizando un calibre de 0,9 mm y una superficie de 25 cm², se aprecia en la figura 1. Los resultados revelan un efecto estadísticamente significativo de acuerdo con la prueba de diferencia de medias de Duncan con un $p < 0,5$ y una prueba de rangos múltiples con un LSD del 95 %.

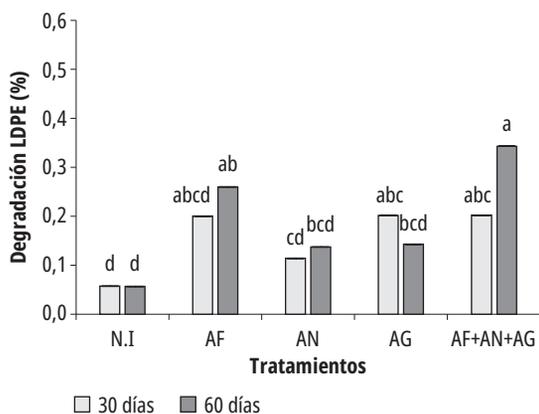
Al inocular con cepas de hongos del género *Aspergillus* sp., en el proceso de degradación del LDPE en suelo, se presentó diferencia estadística significativa con respecto a los controles no inoculados. El tratamiento que mejor presentó degradación del plástico fue el consorcio de las cepas, con un valor de 0,34 % en 60 días. Los hongos de forma individual con mejor desempeño presentaron los siguientes porcentajes de degradación: AF 0,26 %

Tabla 1. Resultados fisicoquímicos del suelo

| Parámetro | Al | Ca | Mg | K | Materia orgánica | Arena | Limo | Arcilla |
|-----------|------------|-----|------|-----|------------------|-------|------|---------|
| | cmol(+)/kg | | | | % | | | |
| Valor | 0,0 | 4,4 | 1,0 | 0,3 | 11,3 | 70 | 20 | 10 |
| Parámetro | P | S | Fe | Mn | Zn | Cu | B | pH |
| | mg/kg | | | | | | | |
| Valor | 3,0 | 16 | 51,9 | 6,9 | 1,9 | 3,2 | 0,08 | 5,5 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Biodegradación (%) de LDPE en 30 y 60 días, con un calibre de 0,90 mm y un tamaño de 25 cm², (NI) no inoculado, (AF) *Aspergillus flavus*, (AN) *Aspergillus niger*, (AG) *Aspergillus fumigatus*. Cada columna es el promedio de tres datos y las letras minúsculas (a, b, c, d) corresponden a la diferencia estadística significativa entre los datos.



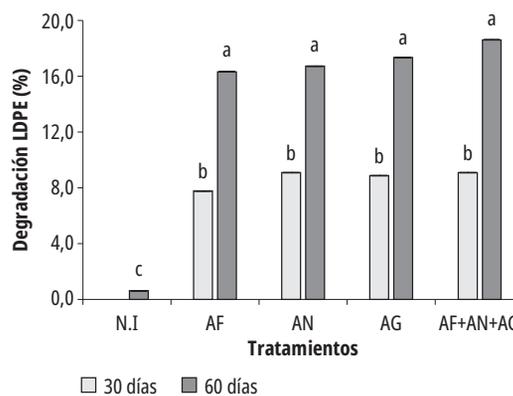
Fuente: elaboración propia.

en 60 días y AG 0,20 % en 30 días. Por otro lado, la inoculación individual de AN mostró el menor porcentaje de degradación registrado de 0,14 % en 60 días. Con relación al tiempo de experimentación, no se observaron diferencias estadísticamente relevantes entre los períodos de inoculación de 30 y 60 días con las cepas de hongos, en términos de la degradación del LDPE para el calibre de 0,90 mm.

En la figura 2 se observa el porcentaje de biodegradación del LDPE con el menor calibre (0,45 mm) y un área de 25 cm². Se presenta un efecto estadísticamente significativo al inocular los hongos. El mejor tratamiento fue el consorcio de cepas formado por *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus fumigatus*, las cuales mostraron la máxima eficacia en términos de degradación, alcanzando un porcentaje de 18,45 % en un período de 60 días.

Se observaron resultados significativos con las inoculaciones individuales de *A. fumigatus*, con una tasa de degradación del 17,05 %, y de *A. niger* con un 16,52 % en 60 días; mientras que la inoculación con *A. flavus* reveló el menor índice de degradación registrado, con un valor de 16,10 % en 60 días. Al inocular microorganismos del suelo se aprecian la eficacia y la eficiencia asociadas con

Figura 2. Biodegradación (%) de LDPE en 30 y 60 días, con un calibre de 0,45 mm y un tamaño de 25 cm², (NI) no inoculado, (AF) *Aspergillus flavus*, (AN) *Aspergillus niger*, (AG) *Aspergillus fumigatus*. Cada columna es el promedio de tres datos y las letras minúsculas (a, b, c, d) corresponden a la diferencia estadística significativa entre los datos.



Fuente: elaboración propia.

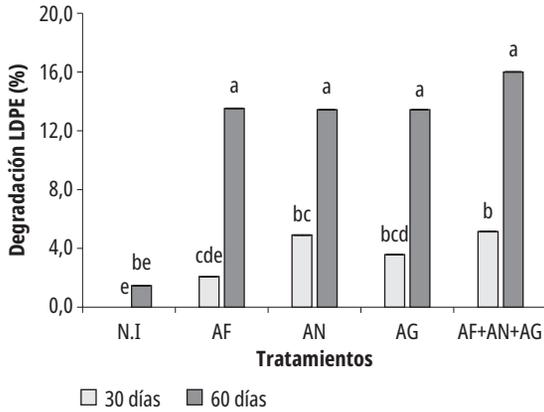
la inoculación, en contraste con las muestras no inoculadas [25].

En relación con el tiempo de degradación, para el calibre menor (0,45 mm) se presentó una diferencia estadísticamente significativa entre los tiempos, siendo superior la degradación a mayor tiempo (60 días).

En la figura 3 se puede observar la degradación del LDPE con el menor calibre y la menor área superficial (4 cm²) y cómo el consorcio mantuvo su dominio como el experimento con la mayor tasa de degradación, registrando un valor del 16,10 %. A este le siguieron los experimentos correspondientes a AF con un valor de 13,56 %, y AN y AG con una degradación de 13,46 % en un período de 60 días.

Es relevante destacar que el tamaño de partícula y el calibre desempeñaron un papel crucial en el proceso de biodegradación; esto puede deberse a la forma en que los microorganismos emplearon su espacio y dimensión para obtener su fuente de carbono a partir del LDPE. El desempeño satisfactorio de las cepas de *Aspergillus* sp. se debe a que estas son capaces de producir enzimas para deteriorar el LDPE y emplearlo como fuente energética y de carbono [26].

Figura 3. Biodegradación de LDPE en 30 y 60 días, con un calibre de 0,45 mm y un tamaño de 4 cm², (NI) no inoculado, (AF) *Aspergillus flavus*, (AN) *Aspergillus niger*, (AG) *Aspergillus fumigatus*. Cada columna es el promedio de tres datos y las letras minúsculas (a, b, c, d) corresponden a la diferencia estadística significativa entre los datos.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados del aislamiento de los hongos presentes en el suelo al final de la experimentación (tabla 2) confirman la viabilidad y persistencia de los microorganismos en el período de estudio.

En ambos periodos de tiempo del experimento se pudo apreciar la mínima alteración de peso que sufrieron las muestras de LDPE en los tratamientos no inoculados (NI), lo que prueba un proceso degradativo, a pesar de no contar con la presencia de las cepas; esto se puede deber a factores como la oxidación y la humedad. El plástico en el suelo, por los contenidos de humedad y materia orgánica, puede tener una degradación hidrolítica que provoca una fragmentación de los enlaces de hidrógeno, rompiendo los radicales funcionales al interior de la molécula, mediante la acción de enzimas que hidrolizan los enlaces amida, uretano o éster, lo que favorece la hidrofobicidad del

Tabla 2. Resultado del crecimiento de los microorganismos en el suelo en medio PDA, luego de 30 y 60 días de tratamiento, con calibres de 0,45 mm y 0,90 mm

| Microorganismos (1x10 ³ UFC/g) | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--------|--------|---------------------------------------|-------|--------|-----------------------------------|-------|--------|
| <i>Aspergillus niger</i> | | | | | | | | | |
| Días | Calibre 0,90 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (4 cm ²) | | |
| 30 | 14 | | | 17 | | | 17 | | |
| 60 | 17 | | | 17 | | | 17 | | |
| <i>Aspergillus flavus</i> | | | | | | | | | |
| Días | Calibre 0,90 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (4 cm ²) | | |
| 30 | 8 | | | 4 | | | 4 | | |
| 60 | 6 | | | 4 | | | 4 | | |
| <i>Aspergillus fumigatus</i> | | | | | | | | | |
| Días | Calibre 0,90 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (4 cm ²) | | |
| 30 | 13 | | | 36 | | | 36 | | |
| 60 | 36 | | | 36 | | | 36 | | |
| Consortio <i>Aspergillus</i> sp. | | | | | | | | | |
| Días | Calibre 0,90 (25 cm ²) | | | Calibre al 0,45 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (4 cm ²) | | |
| 30 | AN: 6 | AF: 22 | AG: 6 | AN: 17 | AF: 9 | AG: 89 | AN: 17 | AF: 9 | AG: 89 |
| 60 | AN: 17 | AF: 9 | AG: 89 | AN: 17 | AF: 9 | AG: 89 | AN: 17 | AF: 9 | AG: 89 |
| No inoculado | | | | | | | | | |
| Días | Calibre 0,90 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (25 cm ²) | | | Calibre 0,45 (4 cm ²) | | |
| 30 | 0 | | | 0 | | | 0 | | |
| 60 | 0 | | | 0 | | | 0 | | |

Fuente: elaboración propia.

polímero, transformándolo en sustancias solubles que pueden ser absorbidos por los hongos [27].

Los hongos tienen la capacidad de descomponer de forma natural los polímeros, debido a que los productos de descomposición son nutrientes para estos microorganismos. En los casos de las investigaciones de biorremediación de plásticos por hongos del género *Aspergillus* sp., se han alcanzado resultados positivos en los mismos porcentajes de degradación, en tiempos similares con los de este estudio (figuras 2 y 3), como se evidencia en el trabajo llevado a cabo por Raaman y colaboradores [28], que utilizaron polietileno de baja densidad y la inocularon *Aspergillus niger* y *Aspergillus japonicus*, durante 30 días, y obtuvieron degradaciones de 5,8 % y 11,11 %, respectivamente. Sáenz y colaboradores [29] degradaron LDPE con *Aspergillus terreus* y *Aspergillus niger*, durante 77 días, y lograron resultados de 22,14 % para *A. terreus*, y de 35,3 % para *A. niger*.

Mathur y Prasad [30] desarrollaron el estudio con polietileno de alta densidad, durante 30 días, y *Aspergillus niger*, y alcanzaron un resultado de 3,44 % de reducción en masa de la muestra, bajo un proceso de oxidación térmica.

Das y Kumar [31] implementaron el uso de *Aspergillus* sp. y *Fusarium* sp. con muestras de LDPE durante 60 días, y finalmente evidenciaron una reducción del peso de las muestras plásticas entre el 5 % y 8 %. En comparación con estos autores, las cepas *A. niger*, *A. flavus* y *A. fumigatus* usadas en esta investigación lograron porcentajes de degradación hasta del 19 % (figuras 2 y 3).

Los mejores resultados de degradación del LDPE se obtuvieron con el consorcio de las cepas (figuras 2 y 3); resultados similares fueron reportados por DSouza y colaboradores [32], quienes implementaron en el proceso de degradación de LDPE tres periodos de 20, 30 y 55 días, con un consorcio conformado por tres cepas, *Aspergillus niger*, *orizae* y *flavus*, del cual resultó un porcentaje de reducción de peso por biodegradación de 26,15 %, en un periodo de 55 días.

Finalmente, Deepika y Madhuri [33] emplearon *Aspergillus niger* y *flavus*, y el proceso de

biodegradación de LDPE se realizó en periodos de tiempo entre 2, 4 y 6 meses, en los cuales se obtuvieron porcentajes de biodegradación de 26,17 % con *A. niger* y de 16,45 % con *A. flavus*, al transcurrir seis meses de experimentación.

Conclusiones

Los microorganismos pertenecientes al género *Aspergillus* sp. logran biodegradar LDPE en el suelo al usarlo como fuente de carbono. Esta degradación depende del calibre y el tamaño del plástico, y presenta un efecto estadísticamente significativo en comparación con las muestras no inoculadas. Este hallazgo indica que el calibre del material desempeñó un papel crucial en el proceso de degradación, mediado por estos microorganismos, debido a que el calibre menor brindó una mayor facilidad de acceso a la fuente de carbono de este material.

El tiempo de degradación es un factor importante, puesto que los resultados obtenidos en 60 días superaron los valores alcanzados en 30 días. Durante ambos periodos de tiempo, se evidenció que el consorcio de las cepas funcionó mejor que cada una de ellas de forma individual. Además, se ha corroborado la viabilidad de los hongos y su capacidad para colonizar la superficie del polietileno.

Referencias

- [1] S. Hari, "Revisión sobre el efecto de los hongos en la degradación del plástico", Departamento de Bioingeniería, Escuela de Ingeniería, Instituto Vels de Ciencia, Tecnología y Estudios Avanzados (Vistas), Pallavaram, Chennai-600117, *Tamilnadu*, India, vol. 6, no. 1, pp. 261-265, 2018.
- [2] R. V. Moharir y S. Kumar, "Challenges associated with plastic waste disposal and allied microbial routes for its effective degradation: A comprehensive review", *Journal of Cleaner Production*, no. 208, pp. 65-76, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.059>.
- [3] A. T. Rivera, "Indicadores culturales para la soberanía alimentaria y su transición agroecológica: miradas, sentisaberes y pistas desde el territorio caucano", *Ixa-ya, Revista Universitaria de Desarrollo Social*, no. 18, pp. 92-130, 2020, <http://revistaixaya.cucsh.udg.mx/index.php/ixa/article/view/7610>.

- [4] UNEP, *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*, 2021.
- [5] S. K. Kale, A. G. Deshmukh, M. S. Dudhare y V. B. Patil, “Microbial Degradation of Plastic - a review”, *International journal of pharmaceutical research*, vol. 13, no. 01, 2020. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.01.245>.
- [6] G. Cedeño, K. Crooks, M. Soto, N. Terán y A. Walters, “Conciencia ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano”, *Las Enfermeras de Hoy*, vol. 1, no. 2, pp. 44-58, 2022, <http://revistas.anep.org.pa/index.php/edh/article/view/35>.
- [7] D. Danso, J. Chow y W. Streit, “Plastics: Environmental and Biotechnological Perspectives on Microbial Degradation”, *Appl Environ Microbiol*, no. 85: e01095-19, 2019, <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>.
- [8] A. Esmaeili, A. Pourbabaee, H. Alikhani, F. Shabani y E. Esmaeili, “Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) by Mixed Culture of *Lysinibacillus xylanilyticus* and *Aspergillus niger* in Soil”, *PLoS ONE*, vol. 8, no. 9: e71720, 2013, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071720>.
- [9] Y. Casas-Martínez, I. Fuquen-Fúquene y A. Gómez-Rodríguez, “Avances en biotecnología ambiental: biorremediación de plásticos”, *i3+*, vol. 4, no. 2, 2022, <https://doi.org/10.24267/23462329.939>.
- [10] J. Yang, Y. Yang, W. Wu, J. Zhao y L. Jiang, “Evidence of Polyethylene Biodegradation by Bacterial Strains from Guts of Plastic-Eating Waxworms”, *Environmental Science & Technology*, vol. 48, no. 23, pp. 13776-13784, 2014, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es504038a>.
- [11] C. Sharon y M. Sharon, “Studies on biodegradation of Polyethylene terephthalate: a synthetic polymer”, *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, vol. 2, no. 2, pp. 248-257, 2017, <https://jmbonline.com/index.php/JMBR/article/view/106>.
- [12] J. Yuan, J. Ma, Y. Sun, T. Zhou, Y. Zhao y F. Yu, “Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics”, *Science of the Total Environment*, vol. 715, no. 136968, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136968>.
- [13] H. Auta, C. Emenike, B. Jayanthi y S. Fauziah, “Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment”, *Marine Pollution Bulletin*, no. 127 (November 2017), pp. 15-21, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>.
- [14] M. Bhatia, A. Girdhar y A. Tiwari, “Implicaciones de una nueva especie de pseudomonas en la biodegradación del polietileno de baja densidad: un enfoque in vitro a in silico”, *SpringerPlus*, vol. 3, no. 497, 2014, <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-497>.
- [15] Y. Chen, B. Stemple, M. Kumar y N. Wei, “Cell Surface Display Fungal Laccase as a Renewable Biocatalyst for Degradation of Persistent Micropollutants Bisphenol and Sulfamethoxazole”, *Environmental Science & Technology*, vol. 50, no. 16, pp. 8799-8808, 2016, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b01641>.
- [16] I. Quispe, K. Del Rosario y M. Vivanco, “Aislamiento y caracterización de hongos filamentosos biodegradadores de polietileno de tereftalato y polietileno de baja densidad”, *Universidad Nacional*, “San Luis Gonzaga”, ICA, 2015, <https://repositorio.unica.edu.pe/bitstreams/a60ba367-850e-4f13-8fdc-1c301ceff972/download>.
- [17] E. Arias y L. Moisés, “Evaluación de la degradación de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos”, *Repositorio de la Universidad San Francisco de Quito*, 2018, <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7410>.
- [18] H. V. Sowmya, Ramalingappa, M. Krishnappa y B. Thippeswamy, “Degradación del polietileno por *Trichoderma harzianum*: análisis SEM, FTIR y RMN”, *Evaluación de Environ Monit*, no. 186, pp. 6577-6586, 2014, <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3875-6>.
- [19] V. Norambuena, L. Luzio y E. Vera, “Comparación entre los métodos de la pipeta y bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de Parinacota, Chile”, *Agricultura Técnica*, vol. 62, no. 1, pp. 150-157, 2002, <http://doi.org/10.4067/S0365-28072002000100015>.
- [20] A. Kamara, E. Rhodes y P. Sawyerr, “Dry Combustion Carbon, Walkley-Black Carbon, and Loss on Ignition for Aggregate Size Fractions on a Toposequence”, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 38, no. 15-16, pp. 2005-2012, 2007, <https://doi.org/10.1080/00103620701548639>.
- [21] A. Pérez, A. Galvis, R. Bugarín, T. Hernández, M. Vázquez y A. Rodríguez, “Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU + n)”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 8, no. 1, pp. 171-177, 2017, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>.
- [22] M. Miyake, “Soil Testing Methods for Available Phosphorus in Paddy Soils of Indonesia”, vol. 22, no. 3, pp. 133-138, 1978, <https://doi.org/10.11248/jsta1957.22.133>.

- [23] M. Habte, and N. Osorio, “Arbuscular mycorrhizas: Producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum”, *University of Hawaii eBooks*, 2001, https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/25589/1/amf_manual.pdf
- [24] A. Sosa, L. Díaz, J. Arrieta y L. Lorena, “Desplazamiento de la práctica de diluciones entre la comunidad de ingenieros bioquímicos y la escuela”, *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, pp. 961-970, 2014.
- [25] N. Grijalva, “Vegetal waste degradation by microbial strains inoculation”, *Enfoque UTE*, vol. 4, no. 1, pp. 1-13, 2013, <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v4n1.21>.
- [26] S. Ávila y H. Morán, “Estudio comparativo de la degradación de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos como es *aspergillus* & *penicillium*”, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2021.
- [27] C. Simón, “Biodegradabilidad de plásticos en agua, suelo y compost”, *Ensayos*, Biblioteca digital Universidad de Alcalá, no. 49, 2021.
- [28] N. Raaman, N. Rajitha, A. Jayshree y R. Jegadeesh, “Biodegradation of plastic by *Aspergillus* spp. isolated from polythene polluted sites around Chennai”, *Journal of Academia and Industrial Research*, vol. 1, no. 6, pp. 313-316, 2012.
- [29] M. Sáenz, T. Borodulina, L. Diaz, and C. Banchon, “Minimal conditions to degrade low density polyethylene by *Aspergillus terreus* and *niger*”, *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 6, pp. 44-51, 2019, <https://doi.org/10.12911/22998993/108699>.
- [30] G. Mathur, A. Mathur y R. Prasad, “Colonization and degradation of thermally oxidized high-density polyethylene by *Aspergillus niger* (ITCC No. 6052) isolated from plastic waste dumpsite”, *Bioremediation Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 69-76, 2011, <https://doi.org/10.1080/10889868.2011.570281>.
- [31] M. Das y S. Kumar, “Microbial deterioration of low-density polyethylene by *Aspergillus* and *Fusarium* sp.”, *International Journal of ChemTech Research*, vol. 6, no. 1, pp. 299-305, 2014.
- [32] G. DSouza, R. Sheriff, V. Ullanat, A. Shrikrishna, A. Joshi, L. Hiremath y K. Entoori, “Fungal biodegradation of low-density polyethylene using consortium of *Aspergillus* species under controlled conditions”, *Heliyon*, vol. 7, no. 5, e07008, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07008>.
- [33] S. Deepika y R. Madhuri, “Biodegradation of low-density polyethylene by micro-organisms from garbage soil”, *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 15-21, 2015, <http://www.jebas.org>

