



Determinación del pretratamiento más efectivo sobre el polietileno tereftalato para el aumento en la eficiencia del proceso de degradación realizado por hongos y bacterias autóctonas de lixiviado de relleno sanitario

Angela María Castro Velazco¹ Camilo Andrés Avendaño Toledo² y
Martha Lucía Díaz Rodríguez³

¹Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. anse962830@gmail.com

²Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. camilotoledo97@gmail.com

³Bacterióloga. Magister en Microbiología. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental, universidad Libre Seccional Socorro. marthal.diazr@unilibre.edu.co

INNOVANDO EN LA U ISSN 2216 - 1236

Resumen

La contaminación por plástico es una de las más significativas en la actualidad, ya que una botella plástica tarda alrededor de 700 a 1000 años en degradarse (Gómez Serrato, 2016).

Figura 1. *Aeromonas hydrophila*



Como resultado, los envases plásticos representan aproximadamente la mitad de los residuos plásticos en el mundo (ONU, 2018). El presente trabajo de grado tiene la finalidad de encontrar el pretratamiento que mejor se adapte para la digestión del Polietileno Tereftalato para así contribuir con futuras investigaciones o planes de manejo viéndose como una alternativa eficiente y a su vez de bajo costo. De esta manera, bajo la acción de las bacterias *Bacillus cereus* y *Aeromonas hydrophila* y los hongos *Penicillium* y *Aspergillus* fueron aplicados pretratamientos de aclimatación natural, radiación UV y

termodegradación a las láminas de PET resultando la aclimatación natural como el pretratamiento donde cada microorganismo se desempeñó más eficientemente reportando estas láminas un porcentaje perdido de masa de 17.91%. El *Bacillus cereus* y el hongo *Penicillium sp.* fueron los microorganismos

destacados con una diferencia en peso registrada en las láminas sobre las que actuaron de 0.0648 g y 0.0565 g y una producción de 81.55 mg CO₂ y 83.25 mg CO₂ respectivamente.

Palabras clave

Bacterias, contaminación, hongos, microorganismos, PET, plástico, pretratamientos, residuos plásticos

1 Introducción

Actualmente, los plásticos son productos muy utilizados y por ende su producción es a gran escala, sin embargo, por su alta resistencia al proceso de degradación se han convertido en un serio problema a nivel mundial (Gonzales, 2019). Pese a no ser considerados como residuos peligrosos tienen implicaciones significativas que suelen pasar desapercibidas restándole importancia a los procesos de recolección y disposición en especial el de los envases (Téllez Maldonado, 2012), y como resultado, los envases plásticos representan aproximadamente la mitad de los residuos plásticos en el mundo (ONU, 2018). Se estima que los costos a futuro para la eliminar todos los plásticos de un solo uso que se están acumulando en el medio ambiente son más elevados que los costos para prevenir los desechos de basura hoy en día (ONU, 2018).

1.1 Descripción del problema

La preocupación ambiental por los residuos plásticos es creciente. Gira en torno a cuatro elementos fundamentales: la degradación lenta de los plásticos; la producción de diferentes productos plásticos es creciente, al igual que la generación de residuos; su principal materia prima es no renovable, el petróleo; y algunos de los químicos utilizados para producir los plásticos son tóxicos. Es un impacto acumulativo que se presenta a largo plazo y cubre gran cantidad de espacios de todo el planeta (Téllez Maldonado, 2012). El polietileno, como muchos plásticos convencionales, es resistente a la degradación (Nowak, Pająk, & Karcz, 2012).

A nivel mundial, el 60% de los alimentos están recubiertos por empaques de plástico-botellas PET, estas botellas debido a su tamaño están ocupando de una manera alarmante los vertederos hasta el punto de ser obligados los gobiernos locales a cerrarlos por falta de capacidad.

Otro problema que surge al tratar de eliminar estos desechos es el uso de la incineración, que produce humo, el cual desprende grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), antimonio y metales pesados, que impactan fuertemente el ambiente (Gómez Serrato, 2016).

Por las razones expuestas, se hace indispensable la implementación de acciones para el tratamiento adecuado a los plásticos dispuestos en botaderos o rellenos que superan en creces la cantidad que el planeta puede resistir. De esta manera el presente tiene por objeto el uso de pretratamientos para la aceleración del proceso de biodegradación llevado a cabo por bacterias autóctonas de lixiviado de relleno en plástico tipo 1 polietileno tereftalato.

1.2 Antecedentes

Gómez & Oliveros (2016) aislaron ocho cepas microbianas de sitios de disposición final de residuos sólidos en Táchira, Venezuela. Entre los microorganismos se hallan bacilos Gram negativos, bacilos Gram positivos, levaduras y mohos capaces de utilizar el PET como única fuente de carbono. Para la prueba de biodegradación recortaron láminas de 2x5 cm a las cuales se les retiró el residuo alimenticio que contenían por medio de lavado con agua; esterilizando la superficie de cada una y someténdolas a radiación UV durante 30 minutos antes de introducirlas en los tubos con el caldo de cultivo de medio mínimo mineral durante 15 días a 37°C y 160 días a temperatura ambiente para su incubación donde, finalizado este tiempo, se extrajeron las láminas para medir la pérdida de peso de estas observando las características físicas de las láminas después de la incubación a través de observación directa y microscópica. La cepa que aportó la mayor pérdida de peso fue la D (Bacilo Gram Negativo) (43.7 mg), seguida de la E (Bacilo Gram Positivo) (1.1 mg) y luego la C (0.8 mg).

1.3 Pregunta problema

¿Cuál de los pretratamientos planteados (aclimatación natural, fotodegradación y termodegradación) aumentarán la eficiencia, y en qué proporción, del proceso de biodegradación realizado por bacterias y hongos autóctonos de lixiviado proveniente del relleno sanitario El Cucharero en plástico tipo 1?

1.4 Justificación

Este proyecto tuvo la finalidad de encontrar el pretratamiento que mejor se adapte para la digestión del plástico (PET) con el fin de contribuir con futuras investigaciones o planes de manejo para los plásticos lo cual se vea como una alternativa eficiente que a su vez sea de bajo costo. Su innovación radica en la implementación, análisis y comparación de diferentes pretratamientos como procesos opcionales para abreviar y facilitar la biodegradación del PET mediante la digestión de bacterias aisladas de los lixiviados de los rellenos sanitarios autóctonos, ya que es sabido que hay una gran cantidad de especies de bacterias ya identificadas y estudiadas que degradan plástico, pero lo hacen de manera lenta e inclusive con un muy bajo porcentaje siendo la innovación del proyecto la aplicación de pretratamientos al polietileno tereftalato para aumentar la eficiencia en el posterior proceso de degradación evidenciando así, cuál de estos facilita la biodegradación y logra un mayor porcentaje.

1.5 Objetivo general

Determinar el pretratamiento (aclimatación natural, fotodegradación, termodegradación) que acelere el proceso de biodegradación realizado por hongos y bacterias autóctonas de lixiviado de relleno sanitario sobre láminas de polietileno.

1.6 Objetivos específicos

- Determinar las bacterias y hongos aptos para la degradación de polietileno tereftalato presentes en el lixiviado de relleno sanitario.

- Calcular el porcentaje de eficiencia de biodegradabilidad llevado a cabo por los microorganismos aislados y el consorcio microbiano para los tres pretratamientos mediante la prueba de pérdida de masa.
- Medir el dióxido de carbono generado en el proceso de biodegradación mediante el test establecido en la norma ASTM D 5988 – 03.
- Comparar el porcentaje de la eficiencia del proceso de biodegradabilidad de los tres pretratamientos aplicados al polietileno tereftalato.

2 Metodología

2.1 Localización

El proceso de biodegradación de las láminas PET fue llevado a cabo en los laboratorios de aguas, básicas y microbiología de la Universidad Libre seccional Socorro: 6° 28' 20" N y 73° 15' 05" W.

2.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa correlacional pues se estudia el grado de relación entre la variable cantidad de plástico degradado por bacterias y hongos respecto a variables propias que implica cada pretratamiento analizando la correlación y sometiendo la hipótesis a prueba.

2.3 Definición de variables e indicadores

Las variables establecidas a partir de los objetivos son las descritas en la tabla 1, mediante estas se determinará la eficiencia de biodegradación para cada pretratamiento aplicado sobre las láminas de PET.

Tabla 1. Variables y su clasificación

Tipo de variable	Variable	Unidad
Dependiente	Biodegradación	%
	Peso perdido	g
	CO ₂ producido	mg/L
Independiente	Microorganismos	UFC/L
	Pretratamientos	-
Intervinientes	Tiempo atmosférico	°C
		% humedad

2.4 Técnicas de investigación

La información se recolectó por medio de monitoreo en los laboratorios de la Universidad Libre seccional Socorro en los laboratorios de aguas, básicas y microbiología con ayuda de distintos equipos de medición.

2.5 Análisis estadístico

Estadística descriptiva para determinar la confianza de los datos. Pruebas de normalidad, prueba Anova de dos vías para conocer si existe diferencia significativa en la eficiencia entre los microorganismos y los pretratamientos al PET. Prueba T Student para rechazar o aceptar la hipótesis general del proyecto.

2.6 Materiales

Para realizar las todas las pruebas se necesitaron agares, reactivos, botellas de polietileno tereftalato, cajas de Petri, recipientes de vidrio sellados, tubos de ensayo y demás implementos para trabajar de manera adecuada en el laboratorio de microbiología.

2.7 Equipos de medición

Para la ejecución de este proyecto se requirió de una autoclave, balanza micro analítica de precisión 0.0001, cámara de flujo laminar, microscopio óptico e incubadora.

2.8 Procedimiento

En primer lugar, luego de haber obtenido la muestra de lixiviado se ejecutó la respectiva caracterización fisicoquímica y posteriormente se inició con los procesos de cultivo y aislamiento tomando los microorganismos directamente de la muestra para después ser sembrados en medios sólidos. Acto seguido, se seleccionaron algunas cepas con el criterio de mayor crecimiento de colonias las cuales se sometieron a tenciones de Gram para las bacterias y para los hongos se realizó la observación macroscópica y microscópica con azul de lactofenol para las cepas predominantes. Los microorganismos fueron resemebrados de manera programada cada 8 días durante cuatro meses donde, a través de cultivos adaptativos se llevaron a una fase de estrés en donde las cepas que se adaptaron de mejor forma al nuevo entorno y a las nuevas condiciones fueron las seleccionadas para iniciar la prueba de biodegradabilidad.

Por último, se obtuvieron 4 cepas puras de las cuales 2 pertenecían a hongos y las otras 2 a bacterias, estas últimas fueron enviadas a identificar en la Universidad de Santander.

Simultáneamente, fueron aplicados los pretratamientos de aclimatación natural, fotodegradación y termodegradación a las láminas PET de un tamaño 3 cm x 3 cm.

Para el proceso de biodegradación evidenciado en la figura 2, fue dispuesto un inóculo al 2% de cada microorganismo en un medio sintético donde cada uno actuó sobre los tres tipos de láminas pretratadas previamente pesadas, más una lámina sin tratamiento como blanco. Adicionalmente los microorganismos actuaron en recipientes con solo 40 mL del medio sintético para corroborar de que este no otorgara una fuente adicional de carbono. Dos conteos fueron realizados cada dos meses en una dilución seriada 1:10⁹.

Figura 2. Montaje de biodegradación con láminas PET pretratadas



Transcurridos 4 meses de la prueba de biodegradación las láminas PET fueron retiradas, desinfectadas y pesadas procediendo a calcular el peso perdido y la eficiencia del proceso.

La cuantificación del dióxido de carbono generado en la digestión del PET por parte de los microorganismos fue adaptada según lo establecido en la norma ASTM D 5988 - 03.

2.9 Población y muestra

La muestra de lixiviado fue obtenida de las piscinas de lixiviados del relleno sanitario El Cucharo obteniéndose la muestra de un tubo de las piscinas de 10 años, este relleno se encuentra ubicado en la Finca El Cascajal, en la vereda El Cucharo, a una distancia de 9 Km del casco urbano del municipio de San Gil, departamento de Santander, en las coordenadas 6.550994 Latitud, -73.188440 Longitud.

3 Resultados

3.1 Parámetros fisicoquímicos del lixiviado

La tabla 3 evidencia los parámetros fisicoquímicos del lixiviado. El índice de biodegradabilidad o DBO₅/DQO de 0.26 se encuentra en el rango de 0.2 a 0.4 definiendo a este lixiviado como un medio biodegradable, con esto se puede afirmar que esta muestra puede contener una gran variedad de cepas.

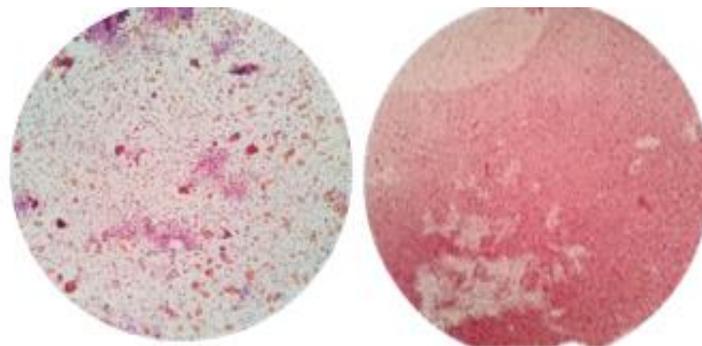
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del lixiviado

Parámetro	Valor	Valores referencia
pH	7.78	6.00 – 9.00
Color aparente (UPC)	5560	3000 - 15000
Turbiedad (NTU)	91.5	27.7 - 250
Conductividad (mS/cm)	21.6	16.2 - 23.5
DQO (mg O ₂ /L)	4734.7	3673 - 6638
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	1251.6	496 - 1594
DBO ₅ /DQO	0.26	0.2 – 0.4

3.1.1 Identificación de los microorganismos

Las bacterias identificadas corresponden a la *Aeromonas hydrophila* como Bacilo gramnegativo, el *Bacillus cereus* como Bacilo grampositivo como se evidencia en la figura 3. Los hongos mediante morfología macroscópica, microscópica, color y aspecto fueron identificados como *Aspergillus sp.* y *Penicillium sp.*

Figura 3. *Bacillus cereus* y *Aeromonas hydrophila*

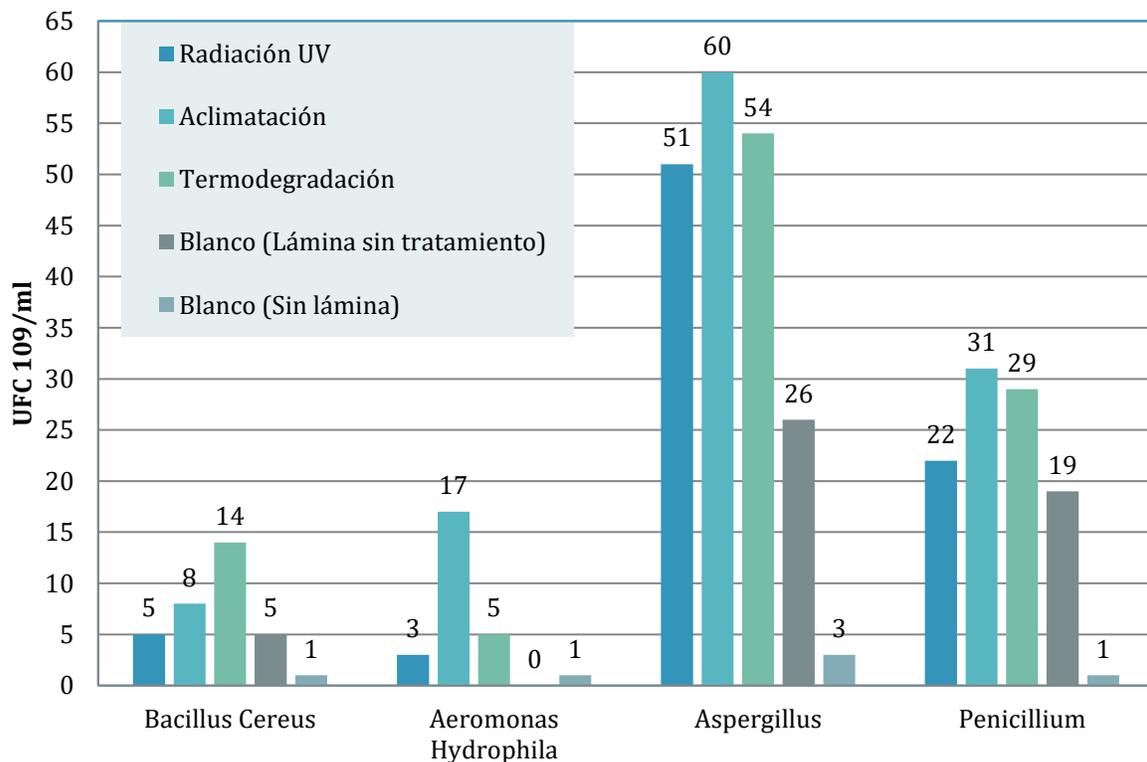


3.2 Conteo de microorganismos

El primer conteo de microorganismos se realizó dos meses después de iniciada la prueba de biodegradación. En la Tabla 1 se presenta la concentración de UFC/L de cada microorganismo para cada pretratamiento.

En la Figura 4 se puede observar el comportamiento de la cantidad de unidades formadoras de colonias registradas en dilución 1: 10⁹ de cada una de las cepas evaluadas con respecto a cada pretratamiento aplicado, donde el pretratamiento que presentó un comportamiento predominante en promedio fue el de aclimatación Natural.

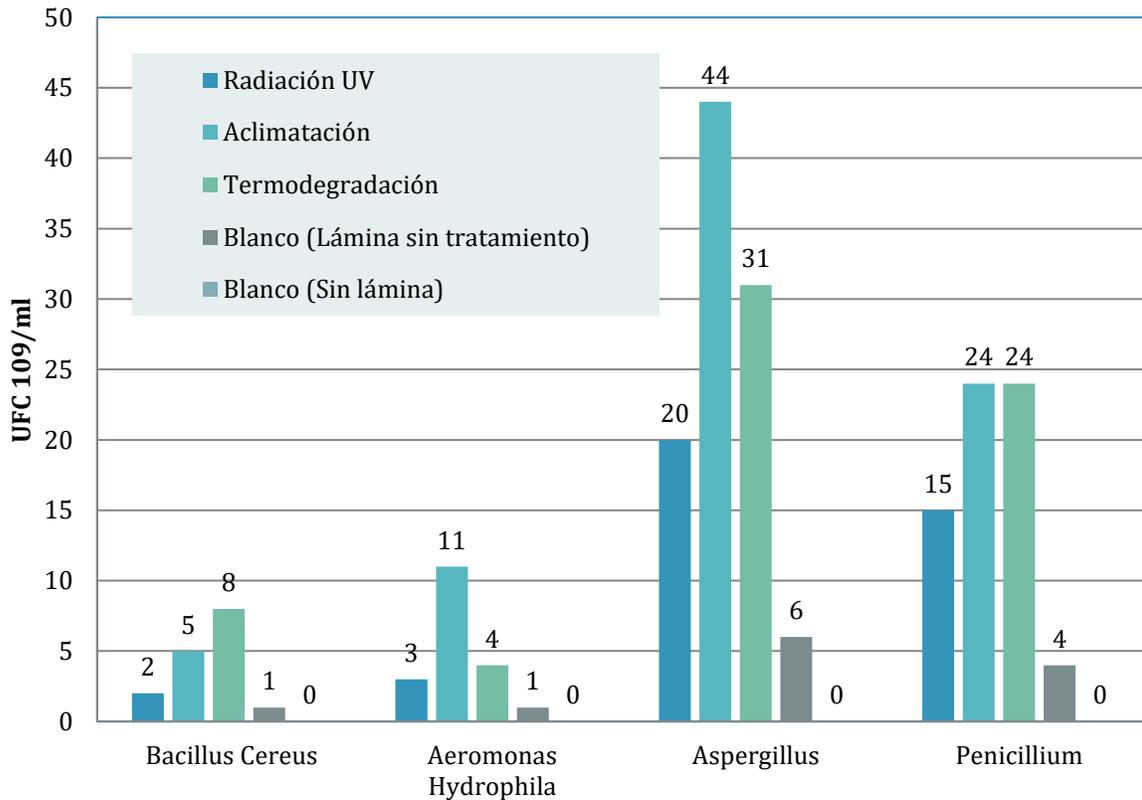
Figura 4. Número de microorganismos presentes en dilución 1: 10⁹ transcurridos dos meses del inicio de la prueba de biodegradación.



Por otra parte, se puede evidenciar la eficiencia de someter este tipo de material a un tratamiento previo, en donde las láminas que fueron tratadas presentaron una mayor colonización reflejando una proporción mayor para la concentración de UFC/L con respecto a las láminas que no fueron tratadas.

El segundo conteo se realizó cuatro meses después de iniciar la prueba de biodegradabilidad y seis después de retirada la lámina del medio sintético.

Figura 5. Número de microorganismos presentes en dilución 1: 10⁹ después de seis días de retirada la lámina de PET.



Respecto a la Figura 5 es posible afirmar que, transcurridos los cuatro meses se sigue presentando el mismo comportamiento predominante que se evidenció en el primer conteo, pero con una diferencia en cuanto a la concentración de UFC/L, ya que hubo una reducción gradual y fue debido a que se había retirado la lámina y los microorganismos se habían quedado sin su fuente de Carbono.

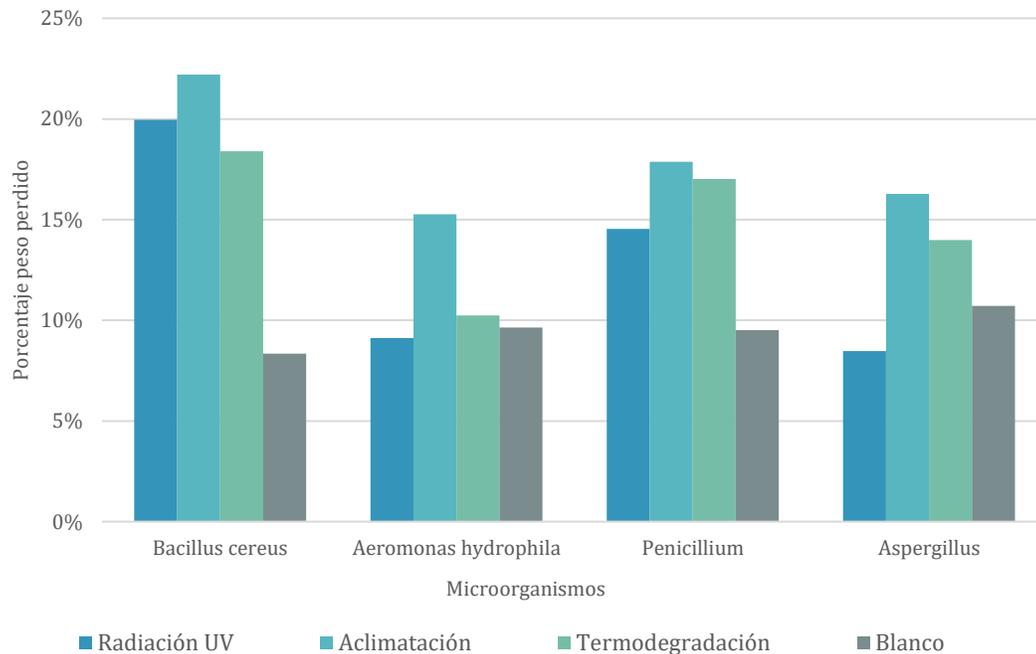
En el segundo blanco donde no había presencia de lámina PET, se obtuvieron los valores esperados, en el cual para todos los microorganismos no se presentó ninguna concentración. Con respecto a lo anterior se puede inferir que las bacterias y hongos evaluados en esta investigación si dependían únicamente de las láminas de PET como única fuente de carbono para realizar sus procesos metabólicos, lo cual confirma su rápida adaptación al medio y al entorno en el cual fueron evaluadas.

3.3 Pérdida de peso y eficiencia del proceso

Según la Figura 6 el microorganismo que generó la mayor pérdida de peso en las láminas PET fue el *Bacillus cereus* donde hubo una disminución del 22.2% en la lámina de aclimatación natural, este

microorganismo logró una disminución promedio de 17% seguida por la acción del *Penicillium sp.* con un 15%, el *Aspergillus sp.* con 12% y por último la *Aeromonas hydrophila* con 11%. Se evidencia de igual manera que cada microorganismo mediante la asimilación del plástico hizo que la lámina de aclimatación perdiera más peso respecto a los otros pretratamientos y al blanco.

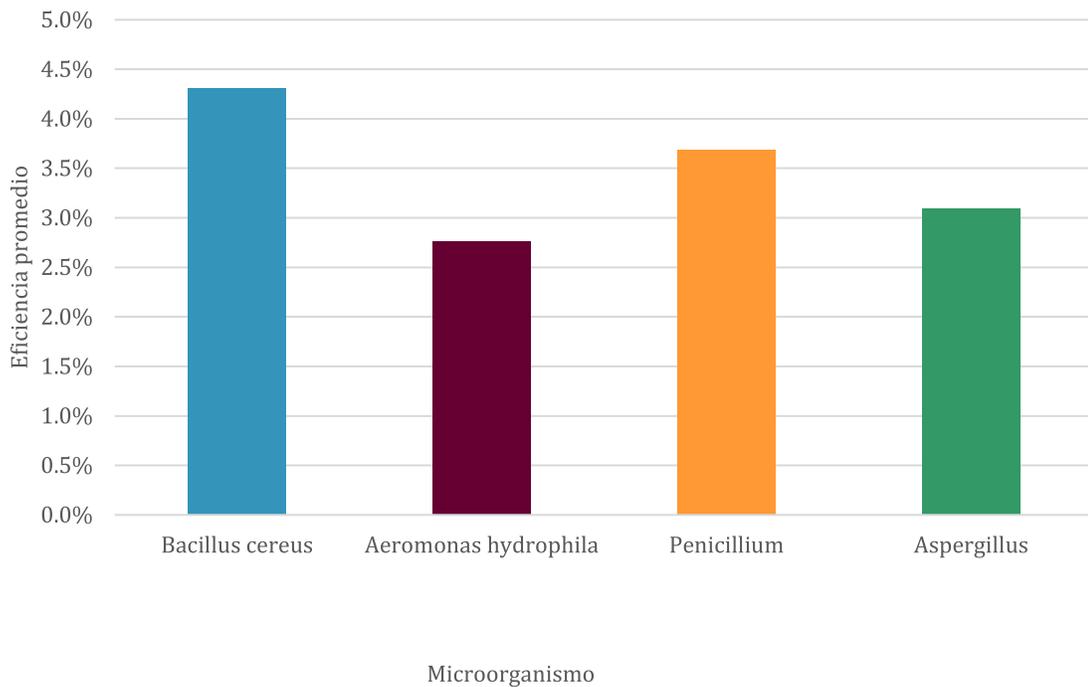
Figura 6. Porcentaje peso perdido según microorganismo y pretratamiento



La eficiencia del proceso se encuentra directamente relacionada al peso perdido en cada lámina en los cuatro meses de la biodegradación según la Figura 6 se evidencia que el microorganismo más eficiente es el *Bacillus cereus* con una eficiencia del 4.3 % donde al ser el PET un material hidrofóbico el *Bacillus* tiene una mayor interacción con este.

Respecto al pretratamiento más efectivo fue la aclimatación natural con una eficiencia promedio del 4.5% comparada con la fotodegradación del 3.3% y la termodegradación de 3.7%.

Figura 4. Porcentaje de eficiencia presentado por cada microorganismo



3.4 Pruebas estadísticas

Debido a que los datos siguen una distribución normal se considera una prueba paramétrica ANOVA de dos vías al tener dos factores influyentes en las eficiencias: los microorganismos y los distintos pretratamientos aplicados. Se plantearon así las hipótesis para cada factor considerando un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

3.4.1 Microorganismos:

Ho: No hay diferencia significativa en las eficiencias generadas por cada microorganismo

Ha: Existe una diferencia significativa en las eficiencias llevadas a cabo por cada microorganismo

3.4.2 Tratamientos:

Ho: No existe una diferencia significativa en las eficiencias donde las láminas PET fueron tratadas

Ha: Existe una diferencia significativa en las eficiencias donde las láminas PET fueron tratadas

La tabla 3 confirma la influencia sobre la eficiencia de los dos factores donde la significación del modelo corregido $0.005 < 0.05$ indica que si existen diferencias significativas en los valores de eficiencias. El factor microorganismo y tratamiento con una significancia $0.004 < 0.05$ y $0.02 < 0.05$ respectivamente permite rechazar la hipótesis nula y por ende aceptar la hipótesis alterna afirmando así que existen diferencias significativas sobre los resultados de eficiencia lograda y que varían según el tipo de microorganismo que haya actuado en el proceso de degradación y varían también según el tipo de tratamiento que fue aplicado a las láminas PET.

Tabla 3. Porcentaje peso perdido según microorganismo y pretratamiento

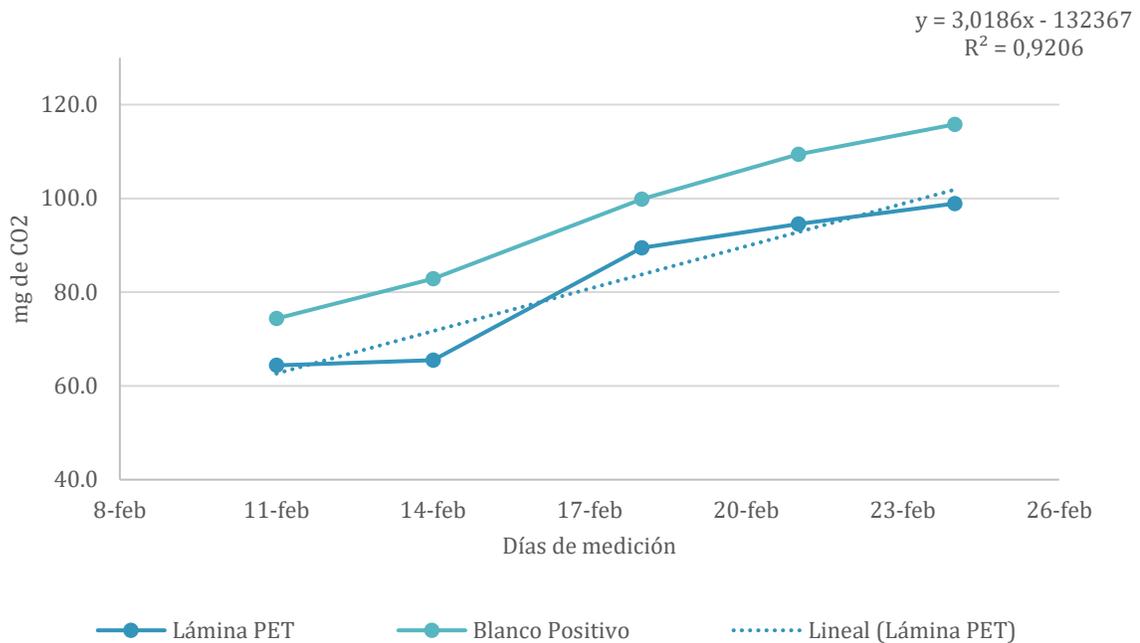
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	11.475 ^a	5	2.295	11.893	.005
Interceptación	175.262	1	175.262	908.261	.000
Microorganismo	8.448	3	2.816	14.593	.004
Tratamiento	3.027	2	1.514	7.844	.02
Error	1.158	6	.193		
Total	187.894	12			
Total corregido	12.633	11			

3.5 Dióxido de carbono producido

La Figura 6 evidencia que al paso de los días la cantidad de CO₂ promedio producido iba en aumento presentándose así una relación directa positiva fuerte de 0.9206. Para el primer día de medición la producción promedio fue de 64.37 mg CO₂ y para el último día de medición la producción promedio fue de 98.90 mg CO₂.

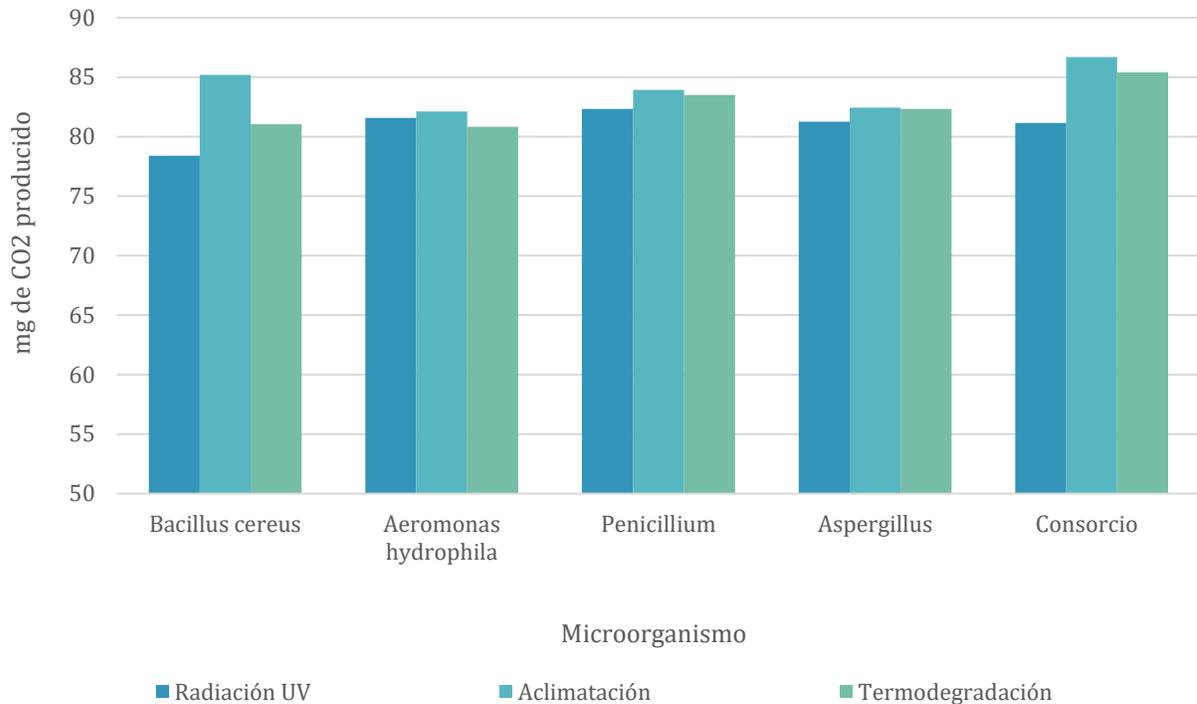
Respecto al blanco positivo la relación es directa positiva de igual manera que al de la lámina de PET, sin embargo, la producción de CO₂ en el blanco fue mayor en todos los días medidos respecto a las producciones generadas por los microorganismos en las láminas pretratadas siendo la producción promedio inicial del blanco de 74.4 mg CO₂ y la producción del último día medido de 115.80 mg CO₂.

Figura 6. Tendencia de la cuantificación de CO₂ producido al paso de los días



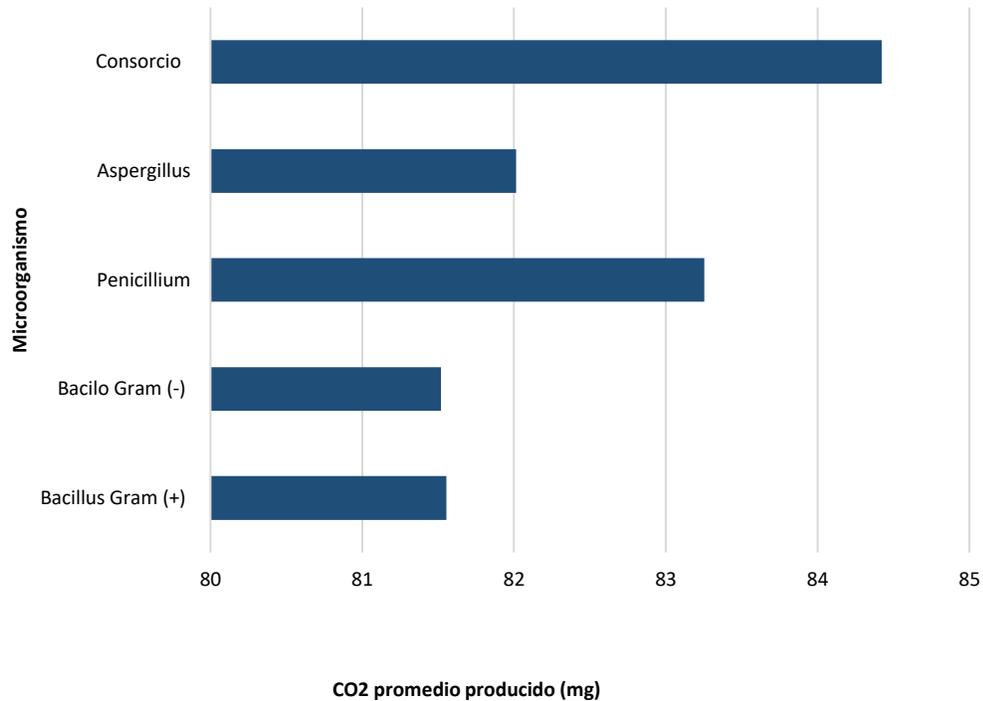
La producción de CO₂ según el tipo de pretratamiento a la lámina PET se evidencia en la Figura 6, donde el pretratamiento correspondiente a la aclimatación natural presenta valores superiores en la acción degradadora de todos los microorganismos en comparación a los pretratamientos de radiación UV y termodegradación, siendo la producción promedio de CO₂ de 84.1 mg CO₂ sobre las láminas de aclimatación natural. 82.6 mg CO₂ sobre las láminas de termodegradación y 81.0 mg CO₂ sobre el pretratamiento de radiación UV. El consorcio microbiano presentó la mayor producción de CO₂ en los tres pretratamientos analizados donde para este consorcio la lámina de radiación UV registró un valor promedio de 81.2 mg CO₂. 84.1 mg CO₂ para la lámina de aclimatación natural y 82.6 mg CO₂ en la lámina sometida a termodegradación. En contraste, la *Aeromonas hydrophila* presentó la menor producción promedio con 81.5 mg CO₂, en donde la producción sobre la lámina de radiación UV fue de 81.6 mg CO₂. 82.1 mg CO₂ en la lámina de aclimatación y 80.8 mg CO₂ sobre la lámina de termodegradación.

Figura 7. Comparativo CO₂ producido por cada microorganismo en los distintos pretratamientos al PET



En la Figura 7 se puede evidenciar la producción promedio de CO₂ del consorcio microbiano siendo este el mayor generador con 84.42 mg CO₂, pudiendo deberse a un efecto de sinergismo provocado por la acción conjunta de los microorganismos como el *Bacillus cereus* y el hongo *Aspergillus sp.* los cuales individualmente a lo largo de la prueba presentaron los mejores resultados o también a un proceso de inhibición de un microorganismo sobre otro. Respecto a los microorganismos individuales que produjeron una mayor cantidad de CO₂ se encuentra al hongo *Penicillium sp.* como el microorganismo destacado en producción con 83.25 mg CO₂. entre las dos bacterias analizadas el *Bacillus cereus* obtuvo una mayor generación de 81.55 mg CO₂ respecto a 81.52 mg CO₂ producidos por la *Aeromonas hydrophila*. Cabe destacar que los valores de producción de CO₂ no distan de manera significativa uno del otro encontrándose la producción promedio de cada microorganismo entre 81 mg CO₂ y 84 mg CO₂.

Figura 8. Comparativo de la producción promedio de CO2 por cada microorganismo



4 Discusión

El *Bacillus cereus* fue el microorganismo más competente en el proceso de degradación en láminas PET con una eficiencia del 4.3%. Vertus, Ruíz, Henriquéz, & Ortíz (2017) obtuvieron una capacidad de degradación para el polietileno de 14% donde analizaron el *Bacillus cereus* debido a su potencial en la biodegradación.

Al comparar los hongos con las bacterias, la capacidad de adaptarse al medio y a la lámina PET es mucho más rápida en los hongos y en consecuencia la colonización es notoriamente significativa lo cual se refleja en la cantidad de UFC. Acuña (2017) reporta que los hongos durante los primeros 2-4 meses tienden a adaptarse y a degradar mucho más rápido estos tipos de material, en cuanto a las bacterias los resultados más representativos se obtuvieron después de transcurridos los 6 meses.

Para el caso del *Penicillium sp.* se debe resaltar que aunque la fuente de carbono no es la misma con respecto al estudio realizado por (Erazo, 2018), este hongo también tuvo un comportamiento notoriamente significativo frente a los otros microorganismos donde se evidenció una capacidad de reducir el peso de la lámina hasta en un 17.88% en tan solo 4 meses y siendo de los dos microorganismos más eficientes a la hora de asimilar al PET como su única fuente de Carbono. (Erazo, 2018) realizó un estudio para determinar la capacidad degradadora del hongo *Penicillium sp.* sobre bioplásticos

elaborados a partir de almidón de cáscara de plátano encontrando que esta cepa es capaz de degradar hasta en un 8.22% de este material en tan solo 2 meses.

En particular para el hongo *Aspergillus sp.* en el estudio realizado por Méndez, Vergaray, Béjar, & Cárdenas (2007) en polietileno demostró ser la cepa con mayor rendimiento clasificándolo como regular degradador en las condiciones ensayadas aun cuando el polímero no fue expuesto a pretratamientos; sin embargo, en el presente trabajo el *Aspergillus sp.* no se destacó en su actuación degradadora al presentar un rendimiento de 3.2% aun cuando las láminas si fueron sometidas a pretratamientos.

En los ensayos de degradación en polietileno de alta densidad con los hongos *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus* llevados a cabo por Barrera, Márquez, Yegres, & Navas (2013) obtuvieron un porcentaje de degradación del 10.25%, 13.83% y 19.56% produciéndose estos resultados luego de un mes. comparado con el presente trabajo la eficiencia producida por el *Aspergillus sp.* es muy baja debido a la resistencia propia a la degradación del polietileno tereftalato.

5 Conclusiones

Los microorganismos obtenidos de la muestra de lixiviado del relleno sanitario “El Cucharero” correspondientes a las bacterias *Bacillus Cereus* y *Aeromonas hydrophila* y los hongos *Aspergillus* y *Penicillium* demostraron ser capaces de utilizar las láminas de PET como única fuente de carbono obteniéndose eficiencias del proceso de degradación entre el 2.1% y 5.6%.

Los microorganismos utilizados en la prueba de biodegradación conllevaron a la pérdida de peso en las láminas de PET siendo el porcentaje de pérdida en peso entre 8.3% y 22.2% presentándose la mayor variación entre el peso inicial y final en la lámina tratada por la aclimatación natural donde el *Bacillus Cereus* actuó con una diferencia de peso de 0.0849 mg.

La medición de dióxido de carbono en el proceso demostró la acción degradadora de los microorganismos siendo el consorcio microbiano el mayor generador de CO₂ con una producción media de 84.42 mg CO₂ seguido del *Penicillium Sp* y *Aspergillus Sp* con una producción de 83.25 mg CO₂. y 82.01 mg CO₂.

El uso de pretratamientos como la aclimatación natural, radiación UV y termodegradación en láminas de PET facilita la biodegradación puesto que las láminas pretratadas presentaron una mayor eficiencia y pérdida de masa respecto a aquellas donde ningún tratamiento fue aplicado siendo así la eficiencia lograda por las bacterias en láminas tratadas del 3.8% comparada a la eficiencia en los blancos de solo 2.3% siendo la aclimatación natural el pretratamiento que presentó mejores resultados

5.1 Recomendaciones

Trabajar con microorganismos termófilos, así como psicrófilos, con el fin de establecer un comparativo de la eficiencia de estos microorganismos respecto a los mesófilos evaluados.

Probar distintos pretratamientos al PET como algunos más abrasivos para así tener un referente de los pretratamientos que conllevan a un proceso de biodegradación más eficiente.

Realizar el mismo trabajo de investigación anterior, pero utilizando una concentración superior del 2% como inóculo inicial de cada microorganismo.

Trabajar con consorcios microbianos probando su actividad biodegradadora en conjunto para este tipo de plástico, esto debido a los buenos resultados evidenciados en las pruebas de dióxido de carbono.

5.2 Planes para el trabajo futuro

Continuar realizando estos ensayos de biodegradación proponiendo y evaluando nuevas matrices en las cuales se pueda realizar cambios en variables como porcentaje de inóculo inicial, temperatura del medio sintético y pH del mismo, por otra parte, sabiendo que las cuatro cepas encontradas se adaptan y asimilan al PET como única fuente de carbono, realizar estudios enzimáticos con el fin de potenciar a estos microorganismos en su acción degradadora y así obtener mejores resultados a corto o mediano plazo.

6 Agradecimientos

Los autores expresan agradecimientos principalmente a la Universidad Libre Socorro por brindarnos la calidad educativa necesaria y formar en nosotros personas integrales, responsables y hábiles para poder afrontar los retos del mañana.

A la mayoría de los docentes que hicieron parte de nuestra carrera universitaria los que gracias a sus enseñanzas y su excelente calidad humana forjaron en nosotros principios éticos y cognitivos para el excelente desempeño en cualquiera de nuestras áreas de conocimiento. A nuestra directora de trabajo e grado la Bacterióloga Martha Lucía Díaz Rodríguez por su paciencia, su tiempo y sus enseñanzas que siempre fueron más allá de lo básico y lo común, brindándonos ese cariño, esa confianza, ese entusiasmo y ese liderazgo lo cual permitió que en nuestro grupo de trabajo se desarrollara una muy buena comunicación lo cual siempre es la base para un excelente desempeño de manera grupal.

A la Dra. María del Pilar Guaque Torres por su amabilidad, su apoyo técnico y económico para la finalización de uno de los objetivos de este trabajo.

A las Químicas Fabiola Arenas y Sandra Liliana Gómez Ayala por su amabilidad y tiempo para atender de manera cordial cualquier inquietud que se nos presentaba.

A los auxiliares de laboratorio Alejandra Castellanos, Julián Mejía y Sergio Bermúdez por la paciencia y el apoyo que nos brindaron para trabajar de manera confortable dentro del laboratorio durante las prácticas y ensayos.

7 Referencias

Acuña, N. (2017). Revisión bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad y sus efectos en el material. Bogotá D.C.: Universidad distrital Francisco José de Caldas.

- Erazo, M. (2018). Evaluación del comportamiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* en la degradación de bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano. Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Gonzales, V. (2019). Capacidad biodegradativa de hongos filamentosos frente al polietileno. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Gómez Serrato, J. G. (2016). Diagnóstico del impacto del plástico - botellas sobre el medio ambiente: un estado del arte (Tesis de Pregrado). Cundinamarca: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- Gómez, J., & Oliveros, C. (2016). Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, táchira, venezuela. San Cristobal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Méndez, C. R., Vergaray, G., Béjar, V. R., & Cárdenas, K. J. (2007). Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno. San Marcos: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Nowak, B., Pająk, J., & Karcz, J. (2012). Biodegradation of Pre-Aged Modified Polyethylene Films. *Vlascheslaw Kazmiruk*, p. 643-670.
- ONU. (2018). Plásticos de un solo uso. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente .
- Téllez Maldonado, A. (2012). La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá (tesis de maestría). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vertus, D., Ruíz, M., Henriquéz, J., & Ortíz, V. (2017). Biodegradación bacteriana de polietileno y propuesta de aplicación en cerro Patacón. *Revista de Iniciación Científica – RIC – Journal of Undergraduate Research Vol. 1.*