

Biodegradación de bandejas desechables de poliestireno

Daiana Soledad Romero¹, María Silvia Alonso¹, Víctor Iván Escalier¹, Sergio Omar Madregal

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy

Contacto: msalonso12@gmail.com



RESUMEN

Se estudió la biodegradación de bandejas desechables de poliestireno en suelo sin inocular e inoculado con microorganismos degradadores previamente aislados. En el ensayo, realizado a 30°C y 50% de humedad, durante 21 meses, se midió la variación en las propiedades mecánicas y en el peso de las muestras y la concentración de los mohos y bacterias en la biopelícula formada en el proceso. Se encontró una disminución en el peso y en las propiedades de tracción, como así también una concentración de bacterias y mohos en la biopelícula adherida, mucho más pronunciadas para el suelo con el agregado de microorganismos degradadores, que para el suelo sin inocular. De los cambios obtenidos, se concluye que la biodegradación del plástico estudiado mejora notablemente al incorporar a un medio natural, como el suelo, microorganismos específicamente degradadores, lo cual podría aplicarse para un tratamiento a mayor escala de residuos similares.

ABSTRACT

The biodegradation of disposable polystyrene trays in soil without inoculation and inoculated soil with previously isolated degrading microorganisms was studied. In the test, carried out at 30°C and 50% humidity, for 21 months, the variation in the mechanical properties and the weight of the samples was measured, as well as the concentration of molds and bacteria in the biofilm formed in the process. A decrease in weight and tensile properties was found, as well as a concentration of bacteria and molds in the adhering biofilm, much more pronounced for the soil with the addition of degrading microorganisms, than for the soil without inoculation. From the changes obtained, it is concluded that the biodegradation of the studied plastic improves markedly by incorporating specifically degrading microorganisms into a natural environment, such as the soil, which could be applied for a larger-scale treatment of similar waste.

Palabras clave: poliestireno, biodegradación, residuos pos-consumo, bandejas

INTRODUCCIÓN

La versatilidad en el uso de productos fabricados con poliestireno, muchos de los cuales son de corta vida útil, ha transformado a este plástico en un problema medioambiental, ya que los millones de toneladas que se producen anualmente en el mundo son desechadas como residuos, muchos de los cuales y en particular los de espuma de poliestireno, no son reciclados para su aprovechamiento, sino que son dispuestos directamente en rellenos sanitarios [1].

Por otra parte, este plástico, al igual que los demás plásticos sintéticos, se degrada en condiciones naturales (como podrían ser las de un relleno sanitario) a una velocidad extremadamente lenta, ocasionando daños en los ecosistemas durante su larga permanencia en los mismos [2].

En las últimas décadas, como aporte para disminuir las graves consecuencias de este problema, a partir de estudios realizados en diferentes condiciones operativas, se ha propuesto aplicar a estos residuos procesos de degradación, recurriendo, en el caso de una biodegradación, al empleo de diversos microorganismos, entre los que se encuentran bacterias y mohos de diversos géneros y especies [3,10].

Sin embargo, muchos de esos ensayos se han limitado a evaluar las posibilidades de los microorganismos como degradadores de poliestireno en condiciones y con técnicas de laboratorio, tales como el uso de medios agarizados, que no resultan reproducibles para practicar este tratamiento a una escala mayor.

Este trabajo fue realizado con el objetivo de determinar el grado de biodegradación alcanzado al tratar poliestireno, en suelo, con microorganismos potencialmente degradadores de este plástico, aislados localmente, con miras a una futura aplicación de este proceso a grandes volúmenes de residuos similares.

METODOLOGÍA

Se usaron muestras de espuma de poliestireno, provenientes de bandejas comercializadas en la ciudad de San Salvador de Jujuy (Figura 1). El espesor promedio de las bandejas fue de 3,60 mm, medido con tornillo micrométrico (rango 0-25 mm y apreciación 0,01 mm).



Figura 1: Bandeja de espuma de poliestireno.

Para el tratamiento de biodegradación se utilizó suelo de la zona del relleno sanitario de Jujuy y microorganismos recuperados desde biopelículas sobre poliestireno en ensayos anteriores del equipo de trabajo [11,12]. Los medios de cultivo empleados fueron agar de Sabouraud con Cloranfenicol (ASC), agar nutritivo estándar (ANS), y un medio salino mínimo (MSM) sin fuente de carbono, cuya composición se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición del MSM.

Componente	Concentración [g/L]
Cloruro de amonio, NH ₄ Cl	0,5
Cloruro de sodio, NaCl	0,5
Hidrógeno fosfato dipotásico, K ₂ HPO ₄	0,3
Hidrógeno fosfato monopotásico, KH ₂ PO ₄	0,4
Cloruro de magnesio hexahidratado, MgCl ₂ ·6H ₂ O	0,1
Extracto de levadura	0,1

Para determinar el grado de biodegradación se utilizaron: una balanza analítica con precisión de diezmilésima de gramo para pesar las muestras antes y al final del tratamiento, una máquina uniaxial de ensayos de tracción para medir las propiedades mecánicas de los controles sin tratar y de las muestras tratadas.

Preparativos

Las muestras de las bandejas de espuma de poliestireno se cortaron con las siguientes dimensiones: 70 mm x 33 mm para las muestras réplica de peso, y 33 mm x 6 mm [13] para las muestras réplica de tracción, todas en número suficiente como controles y para ser sometidas a tratamiento. Una vez cortadas las muestras se sumergieron

en solución de etanol por 15 minutos y se secaron en estufa a 70 °C por media hora y luego se colocaron en desecador hasta peso constante.

Luego de la limpieza de las muestras, se midió el peso inicial de las muestras para peso (Figura 2) y se hizo el ensayo de tracción de las muestras controles para determinar las propiedades mecánicas iniciales según Normas ASTM [14], para lo cual se utilizó una máquina de tracción (Figura 3) que operó a una velocidad de ensayo de 1 mm/s y a 20 ± 2 °C.



Figura 2: Pesaje de muestra.



Figura 3: Tracción de muestra.

Las muestras de peso y las de tracción, destinadas al ensayo de biodegradación, se esterilizaron previamente con luz UV-C.

De manera simultánea se hizo la recuperación de los mohos y de las bacterias, disponibles desde ensayos anteriores en el laboratorio del estudio, en ASC y ANS, respectivamente.

Tratamiento de biodegradación

Los microorganismos recuperados se

suspendieron en el MSM para formar el inóculo para los recipientes de ensayo. Se hizo además una siembra en ANS y en ASC de este inóculo para determinar la concentración de los microorganismos en el momento inicial del ensayo.

Las muestras a tratar, se colocaron en recipientes previamente desinfectados entre dos capas de suelo no esterilizado de la zona del relleno sanitario de Jujuy de 2 cm de altura cada una. Se prepararon dos recipientes con condiciones diferentes: en el recipiente 1 el suelo no se inoculó con microorganismos (suelo sin inóculo de enriquecimiento) mientras que en el recipiente 2 se inoculó con microorganismos (suelo con inóculo de enriquecimiento). Cada una de las capas del recipiente 2 fue sembrada con 40 mL del inóculo, en tanto las del recipiente 1 fueron humedecidas con agua destilada estéril.

El tratamiento de biodegradación duró 21 meses y se hizo a una temperatura promedio de 30 °C, humedad del 50% y con aireación intermitente.

Medición de propiedades finales

Completado el plazo del tratamiento de biodegradación, las muestras fueron extraídas. Los restos de suelo adherido en las muestras se retiraron con agua destilada estéril.

La biopelícula formada en las caras de cada muestra fue retirada con solución de Tween® al 1%. Desde las suspensiones formadas se tomaron las muestras destinadas al recuento final de microorganismos adheridos a las muestras.

Una vez retirada la biopelícula, las muestras se lavaron con solución de Tween® al 5 % y luego se procedió de manera similar a lo practicado para pesar las muestras antes del tratamiento.

Las muestras de tracción luego de ser desenterradas se lavaron con solución de etanol para retirar completamente los restos de suelo. Luego de ser secadas se les hicieron las pruebas de tracción según Normas ASTM [14] para medir las propiedades mecánicas finales con la máquina de tracción uniaxial.

RESULTADOS

Los valores promedio de variación en el peso de las muestras debido al tratamiento, como así también de la concentración promedio de microorganismos en las biopelículas adheridas a las diferentes muestras al momento de la extracción de las mismas, se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2: Variación promedio de peso de las muestras y concentración promedio de microorganismos en las biopelículas al final del estudio.

Recipiente	Concentración de microorganismos en biopelícula final [UFC/muestra para peso]		Variación de peso [10^{-5} g] (Peso final - peso inicial)
	Bacterias	Mohos	
1	$4,81 \times 10^5$	$2,00 \times 10^3$	-213
2	$8,34 \times 10^5$	$4,20 \times 10^3$	-327

Los resultados de los ensayos de tracción se presentan en la Tabla 3, tanto para los controles como para las muestras tratadas en los diferentes recipientes, en distintas condiciones de aporte microbiano, en donde se muestra que hubo una reducción de hasta 60 % respecto de los controles para el recipiente inoculado con mohos y bacterias.

Tabla 3: Propiedades de tracción (valores promedio de réplicas)

Muestras	Tensión a rotura [kPa]		Elongación a rotura [%]	
	Dirección de corte 1	Dirección de corte 2	Dirección de corte 1	Dirección de corte 2
Controles (sin tratamiento)	1170	980	32	23
Biodegradadas en recipiente Nro 1	910	600	22	13
Biodegradadas en recipiente Nro 2	870	380	21	10

DISCUSIÓN

Por el tratamiento de biodegradación practicado en este estudio, hubo una disminución de peso de las muestras, como así también de las propiedades mecánicas de tracción tensión a rotura y elongación a rotura). Estos cambios fueron más importantes para las muestras incubadas en el recipiente con suelo inoculado con microorganismos potencialmente degradadores de poliestireno que para las del que no

recibió este aporte inicial de bacterias y mohos.

Los resultados hallados para estas variables guardan coherencia entre sí, y además están en concordancia con ellos las concentraciones de bacterias y de mohos en las biopelículas de las muestras al final del ensayo de biodegradación. En efecto, para ambos grupos de microorganismos, se encontró, para el recipiente inoculado inicialmente con microorganismos potencialmente degradadores de poliestireno, una concentración, tanto de bacterias como de mohos, mayor (aproximadamente el doble) que las respectivas concentraciones promedio encontradas para las biopelículas adheridas a las muestras finales del recipiente cuyo suelo de relleno no recibió esa inoculación inicial.

Otros equipos de trabajo estudiaron la degradación de espuma de poliestireno con diversos microorganismos diferentes a los utilizados para este trabajo y en condiciones que no resultan, en general, similares a las de este estudio, y evaluaron la biodegradación ya sea a través de variaciones en el peso (de manera directa o indirecta) o en las propiedades mecánicas de las muestras. Ojeda et al. [10] informaron haber encontrado una variación insignificante de las propiedades mecánicas y una disminución de peso de hasta 2 % para espuma de PS tratada con un cultivo mixto compuesto por *Mycobacterium fortuitum*, *Bacillus cereus*, *Fusarium oxysporum*, entre otros microorganismos), en compost maduro, a 58°C y durante 90 días. Para una duración similar, Chunga [5] obtuvo, con bandejas de espuma de PS, a 25°C, sobre humus de lombricultura (conteniendo bacterias de los géneros *Clostridium* y *Bacillus*) una disminución de peso de 0,4 % medido con una balanza con precisión de lectura de 1 mg.

En otros casos, otros grupos [3], [4], [6], [7] han trabajado sobre la biodegradación ya sea solamente de poliestireno cristal, o con espuma de poliestireno pero midiendo otras variables, diferentes al peso y a las propiedades mecánicas, para evaluar las consecuencias del tratamiento aplicado, por lo que sus resultados no son comparables con los de este estudio; sin embargo algunas de esas variables podrían resultar útiles de aplicar como complemento de las utilizadas aquí, para ensayos de biodegradación futuros.

Cabe destacar que la mayoría de los estudios de otros autores sobre biodegradación de poliestireno, han sido realizados en condiciones que, técnicamente o económicamente, resultarían imposibles de practicar para un tratamiento de residuos de poliestireno a gran escala.

CONCLUSIONES

1- En las condiciones aplicadas para este estudio, ha sido posible lograr una biodegradación de

espuma de poliestireno con los microorganismos utilizados (cultivo mixto de bacterias del género *Bacillus* y mohos de los géneros *Penicillium* y *Cephalosporium*). Esto se ha puesto en evidencia por la disminución de peso y de tensión y elongación a rotura de las muestras debido al tratamiento practicado, como así también por la obtención de una biopelícula final adherida a las muestras más rica tanto en bacterias como en mohos para el caso en que el suelo que rodeaba a las muestras se inoculó con estos microorganismos de manera adicional, los que fueron confirmados, así, como degradadores del material plástico estudiado.

2- Para evaluar y realizar el seguimiento del proceso de biodegradación de residuos de espuma de poliestireno, tales como las bandejas de este estudio, se pueden utilizar las diferentes variables de este trabajo: variación de peso y de propiedades de tracción de las muestras, y composición y concentración de la biopelícula que se adhiera al material tratado. También sería recomendable introducir la evaluación de la biodegradación a través de otras técnicas, como ser microscopía electrónica de barrido y espectroscopía infrarroja, entre otras, ya que podrían aportar información adicional a la proporcionada por las variables analizadas en este trabajo.

3- El tratamiento de este estudio podría ser utilizado como base para diseñar un tratamiento que permita biodegradar cantidades importantes de residuos similares a los de este trabajo, antes de lo cual sería importante determinar la influencia que tendría, sobre el proceso, realizar reinoculaciones periódicas de los microorganismos degradadores durante el período de incubación, como así también comparar los resultados de una biodegradación realizada en condiciones aerobias con otra en condiciones anaerobias.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a SECTER-UNJU, por el financiamiento de estos estudios, y al personal del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy, en cuya máquina uniaxial se han realizado los ensayos de tracción de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Ho, B. T.; Roberts, T. K.; Lucas, S. (2017). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 308–320.
- [2] Ccallo Arela, M.; Scaca Masco, F.; Callata Churac, R.A.; Vigo Rivera, J. E.; Calla Calla, J. (2020). Biodegradación de polímeros de plástico por *Pseudomonas*. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 46-59.
- [3] Mor, R.; Sivan, A. (2008). Biofilm formation and partial biodegradation of polystyrene by the actinomycete *Rhodococcus ruber*. *Biodegradation*, 19, 851–858.
- [4] Murali, M.; Umamaheswari, S. (2019). Potential of soil microbes in degrading polystyrene foam. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 4(4), 109-117.
- [5] Chunga Campos, L. R.; Cieza Martínez, C. A. (2017). *Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el humus de lombriz durante los meses, octubre – diciembre 2016*. Universidad de Lambayeque. Perú.
- [6] Kim H. W.; Jo, J. H.; Kim, Y. B.; Le, T. K.; Cho, C. W., Yun, C. H.; Chi, W. S.; Yeom, S. J. (2021). Biodegradation of polystyrene by bacteria from the soil in common environments. *Journal of Hazardous Materials*, 416, Art.126239.
- [7] Santacoloma-Londoño, S.; Buitrago-González, M. E.; Lamus-Molina, V.; Asprilla-Asprilla, S.; Ruíz-Terán, J. E.; Villegas-Méndez, L. C. (2019). Evaluation of the biodegradation of polyethylene, polystyrene and polypropylene, through controlled tests in solid suspension with the fungus *Aspergillus flavus*. *Scientia et Technica XXIV*, 24(3), 532-540.
- [8] Jiménez Pérez, C. (2017) *Biodegradación de poliestireno por microorganismos aislados de un basurero municipal*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- [9] Condori Álvarez, K. C. (2021). Biodegradación de poliestireno expandido mediante *Pseudomonas sp.* aisladas del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro. Universidad Nacional de Juliaca. Perú.
- [10] Ojeda, T. F. M.; Dalmolin, E.; Forte, M. M. C.; Jacques, R. J. S.; Bento, F. M.; Camargo, F. A. O. (2009). Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability*, 94, 965–970.
- [11] Alonso, M.S.; Mamaní, C.D.; Carrazana, D.F.; Madregal, S.O.; Lozano A.R. (2010). Recuperación de bacterias viables por remoción, con Tween, de biopelículas adheridas a poliestireno, Estudios físicos, químicos y biológicos en sólidos y líquidos. *La investigación y su transferencia a la comunidad*, 505-509.
- [12] Altamirano, F. E.; Alonso, M. S.; Madregal, S. O.; Carrazana, D. F. (2012). Identificación de mohos de biopelículas degradadoras de plásticos. *Experiencias Innovadoras en investigación aplicada*, 31-35.
- [13] IRAM (1969). *Norma 13316 Plásticos: ensayos de tracción*. Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires, 9pp
- [14] ASTM International.(2003). *ASTM D-638-02a. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. American Society for Testing Materials, Conshohocken, Pensilvania, 13pp.