

Uso de un solvente verde para la reducción del volumen del poliestireno expandido en un establecimiento educativo

Evelyn Jiménez-Rojas¹, Santiago Pulgarín-Penagos¹, María Alejandra Vásquez-Tuberquia¹, Camila Gómez-Jaramillo¹, Carlos Fidel Granda-Ramírez¹ & Gina Hincapié-Mejía¹

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia - Colombia



Para citaciones: Jiménez Rojas, E., Pulgarín Penagos, S., Vásquez Tuberquia, M., Gómez Jaramillo, C., Granda Ramírez, C., & Hincapié Mejía, G. (2022). Uso de un solvente verde para la reducción del volumen del poliestireno expandido en un establecimiento educativo. *Ing-NOVA*, 7(1), 18-29. <https://doi.org/10.32997/riin-2022-3725>

Recibido: 28 de julio 2021

Revisado: 12 de octubre 2021

Aprobado: 13 de octubre 2021

Autor de correspondencia:

Gina Hincapié-Mejía

gina.hincapie@colmayor.edu.co

Editor: Miguel Ángel Mueses. Universidad de Cartagena-Colombia.

Copyright: © 2022. Jiménez Rojas, E., Pulgarín Penagos, S., Vásquez Tuberquia, M., Gómez Jaramillo, C., Granda Ramírez, C., & Hincapié Mejía, G.. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> la cual permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre y cuando que el original, el autor y la fuente sean acreditados.



RESUMEN

El poliestireno expandido es usado ampliamente para la elaboración de una gran variedad de empaques debido a su gran resistencia y bajo peso, sin embargo, es dispuesto directamente al relleno sanitario acortando rápidamente su vida útil debido al gran volumen que ocupa. Se redujo el volumen del poliestireno expandido, generado como residuo en el servicio de alimentación estudiantil de una institución de educación superior, por medio de la utilización de un solvente verde. Se extrajo aceite esencial de cáscara de naranja a través de la técnica de hidrodestilación y se aplicó como solvente en la reducción del volumen del material recolectado. Se aplicó un diseño experimental factorial, variando las proporciones de poliestireno: aceite y la velocidad de agitación. Se logró la reducción total del volumen sólido del poliestireno en un amplio rango de las proporciones evaluadas, se observó que la velocidad de agitación fue un parámetro influyente en el tiempo de reducción del volumen sólido del poliestireno. Las condiciones óptimas encontradas fueron una proporción 1:1 de poliestireno: extracto y una velocidad de agitación de 300 rpm.

Palabras clave: d-limoneno; EPS; hidrodestilación; reciclaje; solventes verdes.

Use of a green solvent to reduce the volume of expanded polystyrene in an educational establishment

ABSTRACT

Expanded polystyrene is widely used for the manufacture of a wide variety of packaging due to its great resistance and low weight, however, it is disposed of directly to the landfill, quickly shortening its useful life due to the large volume it occupies. The volume of expanded polystyrene, generated as waste in the student food service of a higher education institution, was reduced through the use of a green solvent. The essential oil of orange peel was extracted by means of the hydrodistillation technique and it was applied as a solvent in the reduction of the volume of the collected material. A factorial experimental design was applied, varying the proportions of polystyrene:oil and the stirring speed. The total reduction of the solid volume of the polystyrene was achieved in a wide range of the evaluated proportions, it was observed that the stirring speed was a parameter that influenced

¹ Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Carrera 78 # 65-46, Medellín, Colombia.

the time of reduction of the solid volume of the polystyrene. The optimal conditions found were a 1: 1 ratio of polystyrene: extract and a stirring speed of 300 rpm.

Keywords: d-limonene; EPS; green solvents; hydrodistillation; recycling.

1. INTRODUCCIÓN

El poliestireno (PS, por su sigla en inglés) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno, con características como color transparente, muy baja elongación, buen brillo, peso ligero, se puede procesar en un amplio rango de temperatura, alta resistencia a la tracción, fácil de producir, resistente a productos químicos inorgánicos y al agua, soluble en hidrocarburos aromáticos, excelente como aislante térmico [1].

El Poliestireno Expandido (EPS, por su sigla en inglés) se obtiene añadiendo al PS un hidrocarburo de bajo punto de ebullición, como el pentano, induciendo un cambio en su forma de gránulos del tamaño de granos de azúcar hacia una expansión del material [2]. El EPS, también conocido como Porexpan, Poliespan o corcho blanco, es utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aligerante de estructuras y como aislamiento térmico y acústico, también es utilizado en actividades de empaque y embalaje en diferentes sectores productivos, en la fabricación de ropa deportiva, muebles, contenedores de refrigeración, moldes de fundición, materiales sismorresistentes y elementos de decoración [3, 4]. El EPS es un material químicamente inerte no biodegradable, no se desintegra, no desaparece en el medio ambiente y no contiene clorofluorocarbonos (CFC), por lo que no contamina químicamente el suelo, el agua o el aire. Sin embargo, puede ser un problema ambiental si no se elimina adecuadamente ya que tiene un gran volumen y es considerado como un material eterno el cual genera grandes problemas al momento de su disposición final. Adicionalmente, al ser un material de un solo uso, desaparece la posibilidad de darle un segundo aprovechamiento que no requiera un proceso de transformación [5]. El EPS tiene una densidad nominal de 12 kg m^{-3} , lo que le confiere cualidades deseables para el transporte de mercancía debido a su bajo peso, pero se convierte en un problema para el sistema de basuras municipal, dado que se llenan rápidamente los carros recogedores al igual que el relleno sanitario [2]. La contaminación por EPS se debe también a que su tiempo de degradación es muy largo, estimado en unos 150 años, lo que añade un factor adicional a la pérdida de vida útil de los rellenos sanitarios, sumado a la posible falta de maquinaria para su procesamiento y compactación. Y finalmente, también se podrían generar gases nocivos si se opta por aplicar la tecnología de incineración para este polímero.

En la ciudad de Medellín, Colombia, la cantidad mensual de residuos de EPS puede llegar a los 2000 m³ y según las Empresas Varias de Medellín, el relleno sanitario de la Pradera tiene una vida útil de 35 años, debido a que solo se aprovecha el 12% de los residuos que llegan a este lugar [6, 7]. A pesar de que el EPS es 100% reciclable, para el personal encargado de su recolección no es rentable hacerlo, dado que ocupa mucho espacio, pesa poco y el precio que pagan por kilogramo es marginal. Adicionalmente, la cadena de valor para el reciclaje de este material no está ampliamente desarrollada en Colombia [8]. Se han propuesto metodologías para el aprovechamiento del EPS que contemplan cambios en el ámbito social, económico y normativo, pero su implementación requiere de la formación de alianzas estratégicas e infraestructura logística con lo que no se cuenta [9].

Actualmente existen varias opciones que buscan mitigar los impactos generados por las EPS, para ello existen una serie de alternativas que son las más utilizadas en el entorno por su accesibilidad. Los diferentes procesos como trituración, compactación térmica, incineración y disolución en solventes químicos, son algunos de los procesos que se han llevado a cabo en el mundo para reducir el problema del poliestireno expandido [10]. Sin embargo, estos métodos no son tan convenientes ya que pueden generar contaminación en su implementación o tener un alto consumo energético que los hace inviables, sin embargo, cabe señalar que se han implementado nuevas tecnologías verdes que son amigables con el medio ambiente y que pueden amortiguar el impacto que genera [9]. Es el caso de "disolventes verdes" como el d-limoneno, que se encuentra principalmente en la piel de los cítricos, principal producto de desecho de la industria de la fruta [11, 12].

Este hidrocarburo natural ha sido ampliamente utilizado como alternativa a los solventes aromáticos, considerados tóxicos y peligrosos. En la ciencia de los polímeros, el d-limoneno (enantiómero R) también se ha utilizado como monómero para la producción de polímeros de base biológica. El D-limoneno también es conocido por sus propiedades antioxidantes y se ha utilizado como agente antioxidante en la industria alimentaria, medicinas, cuidado personal, productos de limpieza, insecticidas botánicos y como potencial biocombustible [11, 13].

Avellaneda logró desarrollar un recubrimiento con una relación de 18 g de EPS por cada 50 mL de d-limoneno, la cual obtuvo un buen desempeño comprobado por medio de diferentes técnicas de caracterización de resinas [10].

Según la investigación de Martínez y Tlenkopatchev, se encontró que utilizando la metátesis cruzada de caucho natural con d-limoneno y aceites esenciales, se logra un rendimiento del 80% al 95% de la reducción [14]. En

India, los investigadores desarrollaron un proceso completamente ecológico y le dieron un enfoque de reciclaje verde para obtener nanopartículas y micropartículas a partir de residuos de poliestireno expandido, el proceso utiliza solvente verde como el d-limoneno para disolver este residuo basado en un método de emulsión - difusión [15, 16]. Asimismo, en Brasil investigaron la producción de tinta con residuos de piel de naranja y poliestireno expandido, buscando la utilización de dos residuos que tienen disposición final directa sin ningún uso como la piel de naranja en la industria de jugos y el EPS, encontrando que los solventes naturales no comprometen la viabilidad técnica del proceso y la economía [17]. Se ha encontrado que el aceite esencial de cáscara de naranja puede contener aproximadamente el 90% de su contenido en forma de d-limoneno, con lo cual es factible utilizar el extracto directamente en diferentes tipos de investigaciones [18]. También se han utilizado otros solventes considerados verdes, recuperables y no tóxicos, como el acetato de etilo y el alcohol etílico, para la obtención de nanopartículas de PS a partir de desechos de EPS, obteniendo una calidad que asegura una viabilidad industrial y retorna el material a su ciclo de vida [19].

Algunas instituciones de educación superior en Colombia cuentan con programas de seguridad alimentaria, los cuales buscan facilitar la permanencia de estudiantes de escasos recursos. En muchos de estos programas se entrega alimentación en empaques desde la empresa proveedora dado que las instituciones no cuentan con un restaurante con dicha cobertura. El material de mayor uso para el empaque de los almuerzos es de EPS, aunque algunas empresas han optado por empaques de materiales más ecológicos como bagazo de caña de azúcar o fibra de cáscara de coco. No obstante, en muchos casos, el precio resulta ser un inconveniente a la hora de pensar en reemplazarlo [20]. El objetivo de este trabajo fue evaluar la reducción de volumen de EPS proveniente del programa de seguridad alimentaria de una Institución Universitaria, aplicando diferentes proporciones de aceite esencial de cáscara de naranja, como solvente verde, extraído con el método de hidrodestilación.

2. Materiales y Métodos

2.1 Extracción del aceite esencial

Se seleccionó la variedad Valenciana como tipo de naranja para el desarrollo del trabajo, dado que es la de mayor cultivo y comercialización en Colombia. Se recolectaron las cáscaras de naranja de un punto de venta de jugo de naranja ubicado en las cercanías de la institución y se realizó una limpieza de la corteza. En un recipiente de una capacidad de 5 L, se colocó 1 kg de cáscara de naranja y se agregaron 250 mL de agua destilada. El recipiente se conectó a un equipo de destilación y se procedió a aplicar el método de

hidrodestilación a 90°C para evitar la degradación térmica del aceite esencial. El destilado (Figura 1), correspondiente al aceite esencial, se recolectó en frascos ámbar para evitar la descomposición por efecto de la luz. Luego se deshidrató con 3 gramos de sulfato de sodio anhidro por cada 10 mL de aceite y se agitó por 30 minutos. Se separó el aceite por medio de filtración y se almacenó bajo refrigeración. El procedimiento descrito se realizó por 20 veces para obtener la totalidad de aceite requerido en el diseño experimental. Se determinó la densidad del aceite por medio de un picnómetro de 10mL y el índice de refracción por medio de un refractómetro Atago PAL-3. Se calculó el rendimiento de cada una de las extracciones realizadas.



Figura 1. Aceite extraído de cáscaras de naranja.

2.2 Selección y reducción del volumen del EPS

Se realizó una revisión del acopio de residuos de la institución educativa, y se seleccionaron los residuos de EPS provenientes del programa de seguridad alimentaria de la institución igual característica estructural y se pesaron (Figura 2). El EPS seleccionado fue lavado, secado al aire y luego cortado en piezas de 1 cm x 1 cm x 0.33 cm.



Figura 2. Caracterización y aforo de EPS del programa de seguridad alimentaria de la institución educativa.

Se mezcló el material preparado de EPS con el aceite extraído en diferentes proporciones volumen:volumen y a diferentes velocidades de agitación, por medio de un agitador orbital Scilogex SK-O330-Pro, como se muestra en la Tabla 1. Todas las pruebas se realizaron por duplicado y se promedió, en cada caso, el tiempo que tomó el material EPS en desaparecer completamente.

Tabla 1. Diseño experimental para la reducción en volumen de EPS con aceite esencial de naranja.

Experimento	EPS/d-limoneno	Velocidad de agitación (rpm)
1	1	150
2	2	150
3	3	150
4	1	300
5	2	300
6	3	300
7	1	450
8	2	450
9	3	450
Control 1	1	0
Control 2	2	0
Control 3	3	0

3. Resultados y Discusión

3.1 Aceite Esencial de Cáscara de Naranja

El aceite extraído del proceso de hidrodestilación tuvo un aspecto blanco cristalino. Se determinó una densidad promedio de 0,849 g/mL y una refracción de 72.0°Brix, propia del d-limoneno como se presenta en diferentes fuentes [16-18]. El rendimiento promedio fue de 0.24%.

3.2 Reducción del volumen de EPS

La Figura 3 muestra el tiempo necesario para que el EPS reduzca totalmente su volumen, lo cual es detectado de forma cualitativa en cuanto ya no se evidencia su presencia. Se muestra cómo el tiempo de reacción es afectado por la velocidad de agitación y por la relación en volumen en la que el EPS es mezclado con el aceite extraído de las cáscaras de naranja. Se muestra el efecto de la mezcla del solvente con el EPS sin la acción de la agitación, lo que evidencia la necesidad de tiempos muy prolongados de tratamiento, y a su vez, que a mayor cantidad de solvente el tratamiento tendrá una menor duración.

Se evidencia que es necesaria la agitación para obtener tiempos cortos de tratamiento y que, en el rango de velocidades evaluado, el aumento de 300 a 450 rpm no representa una mejora significativa en el tiempo de reacción

por lo que, en términos de eficiencia energética, es más rentable seleccionar la velocidad de 300 rpm.

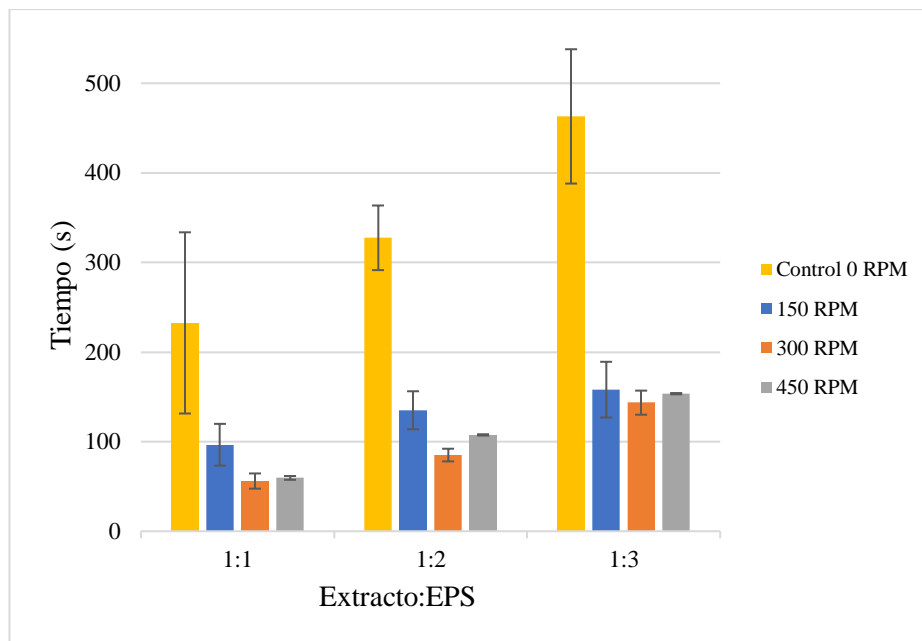


Figura 3. Tiempo de tratamiento de EPS a diferentes proporciones de los materiales y velocidades de agitación.

La relación EPS/solvente muestra tener un mayor efecto cuando el EPS está en una menor proporción, es decir, se requiere una gran cantidad de solvente por volumen de material para obtener un menor tiempo de tratamiento. No obstante, si se evalúa el efecto de la agitación individualmente para cada proporción de solvente, con la proporción de 3:1 se obtiene una mayor la reducción del tiempo de tratamiento con respecto al control. Por tanto, resulta llamativo usar una proporción de 3:1 con cualquiera de las velocidades de agitación, ya que se consume una menor cantidad de solvente y el tiempo invertido en el tratamiento no difiere en gran medida de las demás proporciones; o visto desde otro punto de vista, en aproximadamente el mismo tiempo de agitación se trata el triple de EPS con respecto al solvente.

Un análisis de varianza muestra también que tanto la agitación como la proporción de EPS/solvente tienen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%. La Figura 4 muestra cómo la velocidad de agitación tiene un efecto negativo en el tiempo que se requiere para la desaparición del EPS. Si se considera que en este caso la optimización del proceso implica la aplicación de un menor tiempo de agitación, el análisis muestra que una mayor velocidad de agitación mejora el proceso. De igual forma se infiere que una mayor proporción de EPS ralentiza su tratamiento, por tanto, requiere de un mayor tiempo de agitación

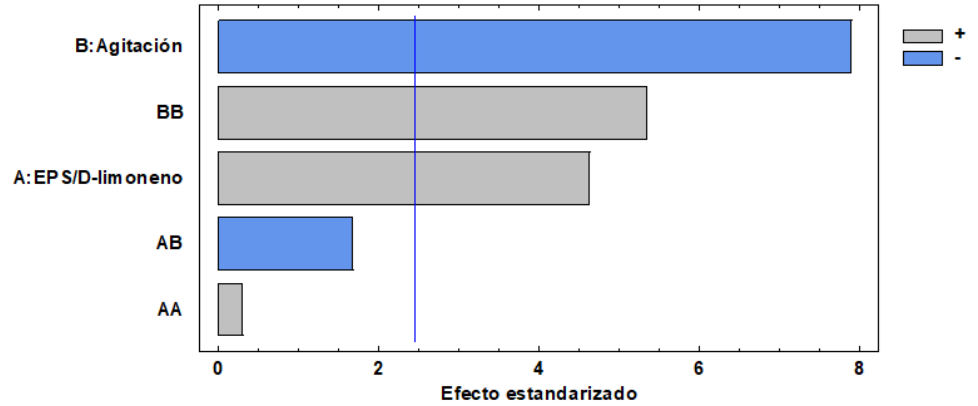


Figura 4. Diagrama de Pareto sobre el efecto estandarizado para el tiempo de agitación.

La Figura 5 presenta el efecto de la velocidad de agitación y de la proporción EPS/solvente en el tiempo de agitación, lo cual corrobora que es más favorable aplicar una agitación de 300 rpm y que la proporción de EPS/solvente, en el rango evaluado, cambia la respuesta con menor influencia.

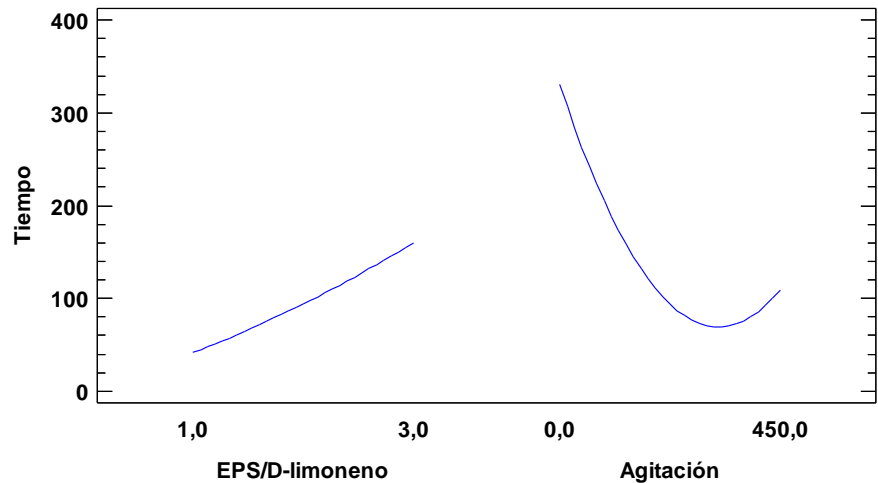


Figura 5. Efectos principales para el tiempo de agitación.

3.3 Reutilización del solvente verde

Una vez realizado cada experimento se utilizó nuevamente el aceite extraído con el mismo procedimiento al que había sido sometido, con el propósito de evaluar si podía ser reutilizado. La Figura 6 muestra que el extracto aún no ha perdido su capacidad de disolver el EPS pero requiere un mayor tiempo para hacerlo en todas las proporciones. Se intentó un tercer reuso, pero el tiempo que tarda en disolverse el EPS, alrededor de 20 minutos, está muy alejando de ser eficiente comparativamente. El solvente va alcanzando su

punto de saturación, el cual se ve reflejado en un mayor tiempo requerido para la disolución del EPS.

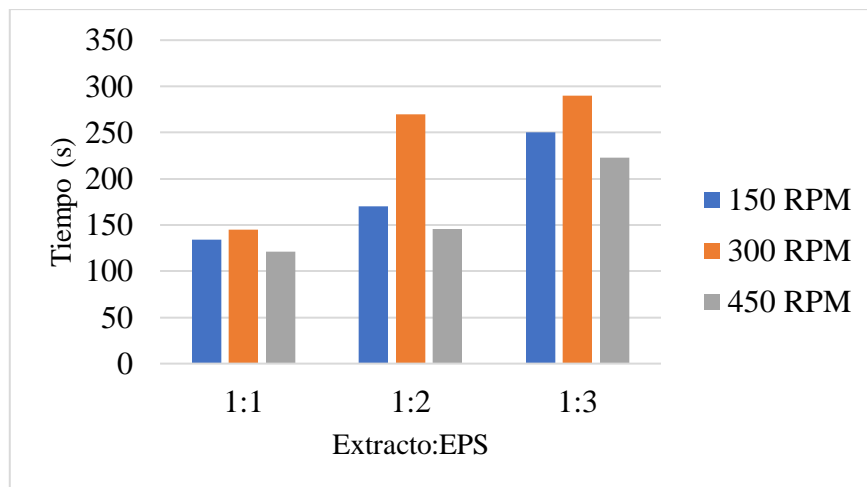


Figura 6. Reuso del aceite extraído de cáscara de naranja.

El material obtenido es susceptible de ser reciclado para fabricar nuevamente EPS, o utilizado en diversas aplicaciones tales como en barnices, pinturas y recubrimientos.

Una de las ventajas más importantes de reducir el volumen de EPS es la versatilidad que presenta para ser transportado y almacenado, y de esta forma facilitar la aplicación final que se decida.

Es importante contar con el trabajo en conjunto de la industria con el sistema de recolección de residuos municipales y con los entes gubernamentales para establecer estrategias llamativas para todas las partes que intervienen en el tratamiento y aprovechamiento de residuos de materiales como el EPS. No obstante, se considera que la reducción de EPS con el d-limoneno extraído por el método presentado, no es una alternativa económica; podría en cambio considerarse su utilización en productos de mayor valor comercial como en la formulación de pinturas y barnices [17].

4. Conclusiones

La hidrodestilación es un método adecuado para la extracción de aceite esencial de cáscara de naranja.

El aceite extraído tiene propiedades de solvente verde demostrado en la capacidad de reducir el 100% del volumen de poliestireno expandido, resultando un menor tiempo de tratamiento aplicando una velocidad de agitación de 300 rpm y una proporción 1:1 de EPS: extracto (56 s); sin

embargo, se puede considerar que a unas condiciones de 300 rpm en una proporción de 3:1 de EPS: extracto, se compensa el tiempo adicional de tratamiento por la cantidad de EPS tratado de 3 veces mayor (143 s), dado que requiere una sola carga de material.

Se determinó que el solvente extraído tiene potencial para ser reusado y disolver una gran cantidad de EPS, ya que todo el modelo de diseño experimental fue aplicado una segunda vez y resultaron unos tiempos de reacción similares a los del primer uso.

El d-limoneno podría utilizarse en otros procesos de mayor valor comercial, y deben procurarse más estudios para que el reciclado de EPS sea viable ecológica y económicamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia por el apoyo en infraestructura y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] Universitat Politècnica de Valencia "Materiales Poliméricos y Compuestos," www.upv.es, https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html
- [2] O. Torres Risi, "Reciclaje de la espuma de poliestireno mediante el uso de d-Limoneno," B.S. Thesis. Fac. Ing. Química y Textil, Prog. Ing. Química, U. Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. 2004.
- [3] Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, ANAPE, <http://www.anape.es/index.php>
- [4] ECOPLAS "Boletín Técnico Informativo no 38. Poliestireno." 2001, <http://ecoplas.org.ar/pdf/38.pdf>
- [5] C. Martínez López, J. R. Canepa Laines, "Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental," *Kuxulka Revista de divulgación*, vol. 19, no. 36, pp. 63-65, 2013. [https://revistas.ujat.mx > article > download](https://revistas.ujat.mx/article/download)
- [6] T. Cruz Cuevas, J. Zaldúa Ramírez, "Análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido usado en contenedores de alimentos en Colombia," *Ingeciencia*, vol. 3, no. 2, pp. 53-65, 2018. http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2874

- [7] D. López-Rivera et al., "Tratamiento de residuos de Poliestireno expandido utilizando solventes verdes." *Revista Investigaciones Aplicadas*, vol. 8, no. 1, pp. 1-9, 2014.
<http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas>
- [8] ESPUSATO E.S.P. "Porque el icopor es un material NO aprovechable?" 2017,
<https://espusato.gov.co/co/inicio/blog/33-porque-el-icopor-es-un-material-no-aprovechable>
- [9] K. Guzmán Pico, H. Prado Restrepo, "Propuesta técnica y ambiental para el óptimo aprovechamiento del Poliestireno expandido pos consumo en Colombia, a partir de las empresas localizadas en Bogotá. DC," B.S. Thesis, Fac. Ing., Prog. Ing. Amb y San. Univ. de la Salle, Bogotá, Colombia. 2019.
- [10] D. C. Avellaneda Díaz, "Evaluación para la obtención de un recubrimiento con resina a base de poliestireno expandido reciclado a nivel laboratorio," B.S. Thesis, Fundación Universidad de América,
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6568/1/6092250-2017-2-IQ.pdf>
- [11] W. Lan, S. Wang, M. Chen, D. E. Sameen, K. Lee, Y. Liu, "Developing poly(vinyl alcohol)/chitosan films incorporate with d-limonene: Study of structural, antibacterial, and fruit preservation properties," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 145, no. 15, pp. 722-732, 2020.
- [12] O. Alabi, K. Ologbonjaye, O. Awosolu, O. Alalade, "Public and Environmental Health Effects of Plastic Wastes Disposal: A Review," *Journal of Toxicology and Risk Assessment*, vol. 5, no. 21, 2019, DOI: [10.23937/2572-4061.1510021](https://doi.org/10.23937/2572-4061.1510021).
- [13] Royal Society of Chemistry, "Extracting limonene from oranges by steam distillation," <https://edu.rsc.org/download?ac=12160>
- [14] A. Martínez, M. Tlenkopatchev, "Cross-metathesis of natural rubber with d-limoneno and essential oils," *Rev. Cub. Quim.*, vol. 27, no.1, pp. 79-86, 2015.
- [15] S. Chandra, H. Mangalara, and S. Varughese, "Green Recycling Approach To Obtain Nano- and Microparticles from Expanded Polystyrene Waste," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 4, no. 11, pp. 6095-6100, 2016, DOI: [10.1021/acssuschemeng.6b01493](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01493)
- [16] A. Pineda-Reyes, M. Hernández Delgado, M. Zambrano-Zaragoza, G. Leyva-Gómez, N. Mendoza Muñoz, D. Quintanar, "Implementation of the emulsification-diffusion method by solvent displacement for polystyrene nanoparticles prepared from recycled material," *RSC Advances.*, vol. 11, pp. 2226-2234, Jan. 2021.

- [17] G. O. Schneider, P. Vieira Schwade, C. K. Santin, L. Avila De Campos Rocha, "Produção De Tinta Com Resíduos De Casca De Laranja E Poliestireno Expandido (Eps) Production of Paint With Residues of Orange Peel and Expanded Polystyrene (Eps)," *Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais*, 2017.
- [18] X. Y. Rueda, L. L. Mancilla, D. P. Parada, "Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (Citrus sinensis, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia)," *Bistua: Revista de la facultad de Ciencias Básicas*, vol. 5, no. 1, pp. 3-8. 2007.
- [19] R. de Sousa Cunha, G. Mumbach, R. Machado, A. Bolzan, "A comprehensive investigation of waste expanded polystyrene recycling by dissolution technique combined with nanoprecipitation," *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, vol. 16, 2021, Art. No. 100470, DOI: [10.1016/j.enmm.2021.100470](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100470)
- [20] P. Castillo, " Un empaque biodegradable para domicilio de alimentos", Universidad Autónoma de Occidente, <https://www.uao.edu.co/ingenieria/un-empaque-biodegradable-para-domicilio-de-alimentos/>