



Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila

ISSN: En trámite

Publicada desde 2009

JBCT JOURNAL OF BIOPROCESS AND CHEMICAL TECHNOLOGY, Año 2018, volumen 10, No. 20, semestre julio – diciembre 2018, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila, a través de la Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación. Edificio D planta alta Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25020, tels.: (844) 4-14-85-82 y 4-10-02-78.

www.biochemtech.uadec.mx/

Journal of Bioprocess and Chemical Technology

Editor Responsable Mónica L. Chávez González. Reserva de Derechos al uso exclusivo No. 04-2019-011112445500-203 ISSN: (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Divulgación y Comunicación Digital de la Dirección de Investigación y Posgrado UA de C, Ing. Carlos F. Robledo Flores, Edificio “D” planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, 01 de julio de 2018.

CONSEJO EDITORIAL

Editores en Jefe:

Dra. Mónica L. Chávez González
Dra. Adriana C. Flores Galleos
Dr. Juan A. Ascacio Valdes

Consejo Editorial:

Dr. Cristóbal N. Aguilar González, Dr. José Luis Martínez Hernández, Dr. David Castro Lugo.

Comité editorial:

Dra. Claudia Magdalena López Badillo, Dra. Anilu Rubio Ríos, Dra. Aidé Sáenz Galindo, Dr. Leonardo Sepúlveda Torre

Comité técnico editorial nacional e internacional

Dr. Damaso Navarro Rodríguez (**Materiales Avanzados Centro de Investigación en Química Aplicada**); Dr. Sylvain Guyot Agroquímica (**INRA-Unité de Recherches Cidricoles, Biotransformation des Fruits et Légumes. Francia**); Dra. Arely Prado Barragán (**Bioreactores y Fermentaciones Universidad Autónoma Metropolitana**); Dr. Deepak Kumar Verma (**Department of Agricultural and Food Engineering. Indian Institute of Technology**); Dra. Virginia Nevárez Moorillón (**Biotecnología Universidad Autónoma de Chihuahua**); Dr. Zainul Akmar Zakaria (**Chemistry & Engineering. Universiti Teknologi Malaysia**); Dra. Anna Iliina Dimitrevna (**Nanomateriales y Biotecnología Universidad Autónoma de Coahuila**); Dra. Liliana Serna (**Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Nacional de Colombia**); Dr. Romeo Rojas Molina (**Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Autónoma de Nuevo León**); Dra. Gisela Tubio (**Biotecnología Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario**); Dr. José Juan Buenrostro Figueroa (**Ciencia y Tecnología de Alimentos Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.**); Dr. Miguel Cerqueira (**Nanomateriales International Iberian Nanotechnology Laboratory. Portugal**); Dr. Miguel Ángel Aguilar González (**Materiales Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN**); Dr. Sócrates Palacios (**Revalorización de residuos Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Ecuador**); Dr. Miguel Velázquez Manzanares (**Química Analítica Universidad Autónoma de Coahuila**); Dra. Alessandra Napolitano (**Biomateriales University of Naples Federico II. Italia**); Dr. Nagamani Balagurusamy (**Catálisis enzimática y fermentaciones Universidad Autónoma de Coahuila**); Dr. José A. Teixeira (**Ingeniería Bioquímica University of Minho. Portugal**); Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán (**Bioprocesos Universidad Autónoma de Tamaulipas**); Dr. Sevastianos Roussos (**Biotecnología y Biorremediación Université Paul Cezanne, Francia**); Dr. Jorge Enrique Wong Paz (**Bioprocesos Instituto Tecnológico de Ciudad Valles**); Dr. Luis Bermudez Humarán (**microbiología e Inmunología MICALIS Institute. INRA, Francia**); Dr. Shiburaj Sugathan (**Mirobiology Jawaharlal Nehru Tropical Botanic Garden and Research Institute. India.**); Dr. Sabu Abdulhameed (**Biotecnología y Microbiología. Kannur University**)

Contenido

Residuos sólidos en una institución universitaria: caracterización y propuestas de reducción

Solid waste in a university campus: characterization and proposals for reduction

Gómez-Méndez, M.G, Ortega-Nuñez, M.G., Castro, L.M., Córdova-Lozoya, M.T., Morales-Corral, D*

Biotransformación De Limoneno: Uso de Sistemas Biológicos Para Llevar a Cabo Modificaciones Químicas

Limonene Biotransformation: Using Biological Systems to Carry Out Chemical Modifications

Villarreal Quintero, P, Iliná, A., Martínez-Hernández, J.L., Segura-Ceniceros, E. P. , Aguilar, C.N. , Chávez-GonzálezM.L

Eco-materiales Compuestos Poliméricos con Aplicaciones en el Área Automotriz

Polymer Composite Eco-materials With Applications in the Automotive Area

Córdova-Cisneros, K. C.,1 Castañeda-Facio, A. O.,1 y Sáenz-Galindo, A.1*

Eco-materiales Compuestos Poliméricos con Aplicaciones en el Área Automotriz

Polymer Composite Eco-materials With Applications in the Automotive Area

Córdova-Cisneros, K. C.,^{1*} Castañeda-Facio, A. O.,¹ y Sáenz-Galindo, A.¹

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza, 25,000. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: karla.cordova@uadec.edu.mx Tel: (844)416 92 13

Resumen

En general las estrategias para la elaboración de productos más sostenibles en la industria automotriz, tienen un objetivo muy específico, el cual consiste en obtener mejoras en el medio ambiente y costos más viables para su producción. En el presente trabajo se investigó la implementación de eco-materiales compuestos poliméricos para su aplicación en la industria y las ventajas que poseen sobre los materiales compuestos convencionales.

Palabras clave: *Eco-materiales compuestos, fibras naturales, polímeros*

Abstract

In general, strategies for the development of more sustainable products in the automotive industry have a very specific objective, which is to obtain improvements in the environment and more viable costs for production. In this paper the implementation of eco-polymeric composite materials for application in industry and possess advantages over conventional composites was investigated.

Keywords: *Eco-composites, polymers, natural fibers*

INTRODUCCIÓN

Las construcciones más sostenibles en la industria automotriz no solo son una iniciativa hacia una mejora en el medio ambiente y de costos más viables, sino también una exigencia actual. Debido a esta demanda, otra forma de equilibrar la sostenibilidad y el costo, es con el uso de materiales compuestos, introducido por la industria la cual utiliza materiales renovables en materiales compuestos, a los cuales se les llama eco-materiales. Los materiales compuestos o compósitos son la combinación de materiales elaborados a

partir de uniones de diferente naturaleza (no química, insolubles entre sí, interacciones covalentes, iónicas, etc) de dos o más componentes, que da lugar a un nuevo o mejorado material compuesto con propiedades, características específicas, las cuales pueden ser físicas o químicas. En estos materiales se pueden identificar dos fases: una continua, constituida por la matriz, y otra fase discontinua, denominada refuerzo, carga, aditivo, relleno esto dependiendo de la concentración, como se muestra en la Fig. 1. (Gelfuso y col., 2013).

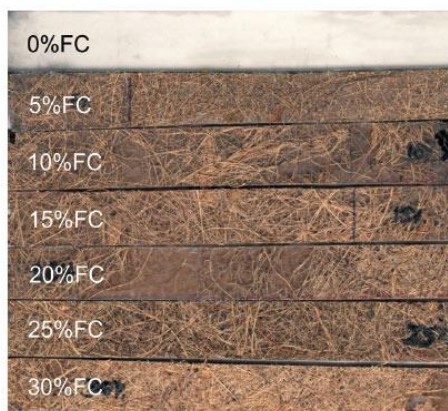


Figura 1. Imagen de un compuesto de fibra de coco (FC)-PP. (Gelfuso y col., 2013).

Para que sea un eco-material compuesto, por lo general la fase discontinua es la que proviene de manera natural.

Se pueden identificar en tres grupos principales como:

- Materiales compuestos de matriz cerámica
- Materiales compuestos de matriz metálica
- Materiales compuestos de matriz polimérica

Los materiales compuestos de matriz polimérica, presentan buenas propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión, donde debido a sus particulares características pueden ser moldeadas. Se pueden destacar materiales compuestos con matrices de resinas de poliéster, viniléster, epoxy fenólicas, y como materiales de refuerzo, las fibras de vidrio, las aramílicas (kevlar) y las de carbono (Besednjak, 2005).

Los eco-materiales compuestos se han utilizado en partes del cuerpo interior y exterior de los automóviles (Koronis y col., 2013). En donde participan varios tipos de fibras naturales (fibra de coco, yute, cáñamo, lino, sisal), las cuales se han utilizado debido a sus importantes aplicaciones industriales. Uno de los primeros materiales compuestos que apareció en el mercado fue en el año 2000, cuando se puso en marcha el coche Audi, en el cual los paneles de revestimiento de las puertas estaban hechas de poliuretano reforzado con un material de lino/sisal (Mohanty y col., 2005).

La industria automotriz actualmente requiere producir vehículos que no dañen el medio ambiente, ya que los gases producidos por el efecto invernadero afectan considerablemente la calidad del aire (Deloug y col., 2016) por lo que esta industria

ha incrementado el uso de eco-materiales para el desarrollo de nuevos vehículos urgiendo la necesidad de un mejoramiento constante, y reduciendo cada vez más la contaminación ambiental.

Existe un aumento en la demanda de la aplicación de polímeros sintéticos en la industria automotriz y aeronáutica, dirigido principalmente para la utilización de polietileno, polipropileno, componentes de policarbonato y poliamida, utilizadas principalmente en el interior y otras partes de los vehículos (Lapčík y col., 2008).

Algunos minerales sirven como aditivos en materiales poliméricos, beneficiando la reducción de costos (Ottani y col., 1998) y mejorando propiedades mecánicas y funcionales específicas para el compuesto (Zhu y col., 2015). Un ejemplo de ello son los materiales compuestos con microesferas huecas, denominadas espumas sintéticas, las cuales se utilizan en aplicaciones que requieren tolerancia a los daños de alta y baja densidad, donde sus principales aplicaciones son aeroespaciales y de ingeniería marina (Porfiri y col., 2009).

Como se puede apreciar la aplicación de los ecomateriales poliméricos es muy basta, por lo que es de gran interés estudiarlos. El presente artículo, proporciona una revisión bibliográfica en el amplio campo de la búsqueda de materiales compuestos poliméricos ecoamigables con la finalidad de implementar y mejorar la industria automotriz para su desarrollo, el cual permitirá la concepción de elementos clave para su entendimiento y desarrollo como un material aplicable en la actualidad.

ESTADO DEL ARTE

A continuación, se darán a conocer las investigaciones sobre los avances que ha tenido la industria automotriz. Uno de los primeros eco-materiales compuestos que apareció en la industria automotriz fue en el año 1996, cuando salió al

mercado el Mercedes-Benz clase E, presentando una mejora en los paneles de las puertas, sustituyendo el material común con resina epoxy y esferas de fibra de lino/sisal, mejorando las propiedades mecánicas, además de presentar una notable reducción de peso del 20% y mejorando la protección de los pasajeros en caso de accidente (Suddell y col., 2005; Mohanty

y col., 2005). Recientemente, los materiales con fibras naturales están ganando importancia para reemplazar la fibra sintética basada en la implementación de eco-materiales compuestos especialmente para aplicaciones en la automoción. Como fue demostrado por Mansor y col. (2013), donde publicaron un método con un proceso analítico jerárquico (AHP), en el cual se utilizaron una selección de las fibras naturales adecuados para hibridar compuestos de polímeros reforzados con fibra de vidrio para el diseño de un componente de la palanca del freno de estacionamiento central del vehículo, en donde destacó la fibra kenaf (fibra originaria de la planta *Hibiscus cannabinus*) como mejor material, cumpliendo los objetivos de diseño y requisitos de rendimiento, para formular los compuestos de polímeros híbridos para la construcción de componentes de automoción.

La correcta utilización de los recursos naturales disponibles se ha vuelto indispensable para el desarrollo de la sostenibilidad en la industria, Oqila y col. (2014) publicaron la posibilidad de utilizar las fibras de palmera datilera en la fibra natural reforzada, en materiales compuestos poliméricos (NFC) para la industria del automóvil. Para asegurar el potencial y la competitividad de la fibra de palmera datilera (DPF) en el desarrollo de la industria automotriz, se llevaron a cabo varias comparaciones entre DPF y otros tipos de fibras utilizadas comúnmente en esta industria, siendo las fibras de palmera datilera la mejor opción para la industria automotriz, al tener propiedades muy convenientes como aislante y al ser un material muy ligero (Kalia y col., 2008).

Con la necesidad de cuidar el medio ambiente, los materiales compuestos a partir de recursos renovables se están convirtiendo cada vez más importantes para la industria automotriz, como fue presentado en la investigación de Notta y col. (2014) donde estudiaron composiciones a base de Ácido Poliláctico (PLA) optimizado para ser usado en aplicaciones de automoción, el cual presenta muy poca ductilidad y tenacidad, por lo que se ha visto la necesidad de estudiar diferentes tipos de plastificantes para mejorar estas propiedades (Ljungberg y col., 2005). En este estudio utilizaron como mejor opción la composición de PLA con plastificante TBC, modificador de impacto y Biomax STRONG® Cloisite® 25A (silicatos organo-modificados), presentando gran interés en aplicaciones de automoción obteniendo mejores niveles de ductilidad mientras que mantienen la rigidez y fuerza más alta en comparación con los materiales de polipropileno con carga mineral.

Un ambiente ecológico y una buena economía es la que ha llevado cada vez más, a que a que este tema cause gran interés hacia las industrias y se empiecen aplicar eco-materiales constantemente. Según estudios recientes el uso de materiales ligeros se está investigando frecuentemente con el objetivo de reducir el impacto durante su uso. Delogu y col. (2016) publicaron las evaluaciones ambientales y económicas que se combinan para evaluar la sostenibilidad de la adopción de un material ligero innovador para un componente del automóvil. Se utilizó, material compuesto de polipropileno (PP) reforzado con relleno a base de talco, y otro innovador elaborado con

micro-esferas de vidrio huecas como refuerzo del PP, las cuales se compararon para ser aplicados a los paneles de tableros de instrumentos del automóvil, como se muestra en la Fig. 2. (Delogu y col., 2016). Obteniendo resultados que muestran que el compuesto reforzado con microesferas de vidrio hueco son mejores desde un punto de vista ambiental para categorías de impacto. En general este material no se ve afectado en cuanto a su fase final de vida y a pesar de un costo de material más alto, se encontró que la solución innovadora es económicamente conveniente.

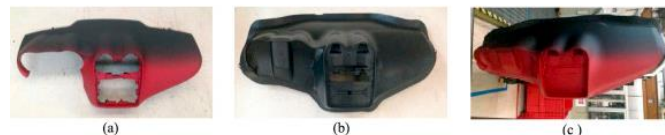


Figura 2. Imagen de un Panel del Tablero de instrumentos del Automóvil a) Componente finalizado b) capa inferior c) manto superior (Delogu y col., 2016).

Los paneles de las puertas, la palanca del freno de estacionamiento central, los paneles del tablero de instrumentos, son algunas de las posibles aplicaciones que ha ido adoptando la industria automotriz con la implementación de eco-materiales compuestos en sus productos.

CONCLUSIÓN

En este estudio se presenta el amplio campo de aplicación de los eco-materiales compuestos y las ventajas que tienen al constituirse de un polímero y un refuerzo que les confiere propiedades más específicas para el uso de cada uno y así construcciones más sostenibles en la industria automotriz, como la reducción de la contaminación ambiental. Esto nos permite tener una visión de la importancia del rol que juegan los eco-materiales compuestos en la industria.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad autónoma de Coahuila, al posgrado en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas y al apoyo otorgado por parte del CONACyT por el otorgamiento de la Beca a nivel maestría con No. 447566.

REFERENCIAS

- Besednjak A. 2005. Materiales compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones. España,UPC. p. 15-16.
- Delogu M, Zanchi L, Maltese S, Bonoli A, Pierini M. 2016. Environmental and economic life cycle assessment of a lightweight solution for an automotive component: A comparison between talc- filled and hollow glass microspheres-reinforced polymer composites. *J. Cleaner Prod.* 139:548-560.
- Faris M, Oqla A, Sapuan. 2014. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *J. Cleaner Prod.* 66:347-354.
- Gelfuso M, Thomazini D, Silva J, De Lima J. 2013. Vibrational analysis of coconut fiber-PP composites. *Mat Res.* 17:367-372.
- Koronis G, Silva a, Fontul M. 2013. Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites Part B.* 44:120-127.
- Kriker A, Bali A, Debicki G Bouziane M, Chabannet M. 2008. Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates. *Cem. Concr. Compos.* 30:639-648.
- Lapčík L, Jindrov P, Lapčíkov B, Tamblyn R, Greenwood R, Rowson N. 2008. Effect of the talc filler content on the mechanical properties of polypropylene composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 110: 274-287.
- Ljungberg N, Wesslén B. 2005. Preparation and properties of plasticized poly(lactic acid) Films. *Biomacromoleculares.* 6: 1789-1796.
- Mansor M, Sapuan S, Zainudin E, Nuraini A, Hambali A. 2013. Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using Analytical Hierarchy Process for automotive brake lever design. *Materials & Design.* 51:484-492.
- Mohanty A, Misra M, Drzal T, Selke S, Harte B, Hinrichsen G. 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: an introduction, London, Press-Taylor & Francis Group. p. 1-36.
- Notta D, Odent J, Delille R, Murariu M, Lauro F, Raquez J, Bennani B, Dubois P. 2014. Tailoring polylactide (PLA) properties for automotive applications: Effect of addition of designed additives on main mechanical properties. *Polym. Test.* 36:1-9.
- Ottani S, Valenza A, Lamantia F. 1988. Shear characterization of CaCO₃-filled linear low-density polyethylene. *Rheol. Acta.* 27:172-178.
- Porfiri M, Gupta N. 2009. Effect of volume fraction and wall thickness on the elastic properties of hollow particle filled composites. *Composites Part B.* 40:166-173.
- Suddell B, Evans W. 2005. Natural fiber Composites in automotive applications. En: Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Mohanty A, Misra M, Drzal T. London. Crc Press. p. 233.
- Zhu B, Wang J, Zheng H, Wu J, Wu R. 2015. Investigation of thermal conductivity and dielectric properties of LDPE-matrix composites filled with hybrid filler of hollow glass microspheres and nitride particles. *Composites Part B.* 69:496-506

Biotransformación De Limoneno: Uso de Sistemas Biológicos Para Llevar a Cabo Modificaciones Químicas

Limonene Biotransformation: Using Biological Systems to Carry Out Chemical Modifications

Villarreal Quintero, P^{1,2}, Iliná, A¹, Martínez-Hernández, J.L.¹, Segura-Ceniceros, E. P.¹, Aguilar, C.N.², Chávez-González M.L.^{1,2*}

¹Nanobioscience Group, School of Chemistry. Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. V. Carranza esquina con José Cárdenas Valdés s/n Col. República Oriente. ZIP 25280. Saltillo, Coahuila, México.

²Bioprocesses & Bioproducts Group. Food Research Department, School of Chemistry. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. V. Carranza esquina con José Cárdenas Valdés s/n Col. República Oriente. ZIP 25280. Saltillo, Coahuila, México. *Autor para correspondencia: monicachavez@uadec.edu.mx

Resumen

La demanda actual por obtener compuestos químicos en diversas áreas industriales con el menor impacto ambiental posible ha ocasionado que exista un desplazamiento de las técnicas convencionales de síntesis orgánica. Por lo que la búsqueda de alternativas que coadyuven a mejorar los procesos de producción de diversos compuestos químicos a través de procesos más limpios, seguros y con incrementos en los rendimientos de producción. Una de estas alternativas ecológicas es el uso de catalizadores biológicos (hongos, bacterias y levaduras) para llevar a cabo estas modificaciones químicas, este proceso es denominado biotransformación. El limoneno, el monoterpeno más abundante en la naturaleza es susceptible a ser biotransformado en compuestos con actividades biológicas interesantes y con aplicaciones en diversas áreas industriales.

Palabras clave: bioconversión, biotransformación, limoneno, monoterpenos, terpenos.

Abstract

The current demand for obtaining chemical compounds in various industrial areas with the least possible environmental impact has led to a shift away from conventional organic synthesis techniques. For this reason, various alternatives have been sought to help improve the production processes of various chemical compounds through cleaner processes, safer and with increases in production yields. So, the search for alternatives that help improve the production processes of various chemicals through cleaner processes, safer and with increases in production yields. One of these ecological alternatives is the use of biological catalysts to carry out these chemical modifications, this process is called biotransformation. Limonene, the most abundant monoterpene in nature, is susceptible to being biotransformed into compounds with interesting biological activities and with applications in diverse industrial areas.

Keywords: bioconversion, biotransformation, limonene, monoterpenes, terpenes.

INTRODUCCIÓN

La biotransformación es considerada una tecnología económica y ecológicamente viable y ha sido utilizada para modificar las estructuras de algunos compuestos biológicamente activos y para comprender mejor el estudio del metabolismo de diversos productos naturales (Chávez-

González y col., 2015). Para esta tarea diversos microorganismos han sido usados para convertir productos naturales bioactivos en derivados con actividades y propiedades aumentadas y toxicidades decrecientes (Li y col., 2018). Los microorganismos tienen la habilidad para modificar químicamente compuestos orgánicos por vías específicas, por ejemplo, un compuesto orgánico en

particular puede ser modificado por una o varias reacciones que son parte de procesos biológicos. Por ejemplo, algunas vitaminas, antibióticos, aminoácidos y hormonas esteroideas pueden ser obtenidas por procesos de biotransformación (Sultana, N. 2018). La biotransformación puede ser agrupada bajo dos diferentes categorías: el primer tipo son las biotransformaciones xenobióticas en las cuales el sustrato es completamente ajeno al microorganismo. El segundo tipo son las denominadas biotransformaciones dirigidas biogénicamente o biosíntesis análoga en la cual el sustrato es muy análogo estructuralmente de un intermediario biosintético (Sultana, N. 2018; Nighat & Zafar, 2013).

En los últimos años se han dado avances importantes en el desarrollo de métodos para comprender y mejorar la estabilidad y la productividad de los biocatalizadores, aumentado así la cantidad de productos que se pueden obtener por biotransformación. En estos procesos enzimas y microorganismos se han utilizado con éxito en diferentes medios ya sean acuosos y no acuosos (Groeneveld y col., 2016).

Uno de los grupos susceptibles a ser biotransformados son los monoterpenos, el compuesto representativo de este importante grupo, el limoneno, posee una estructura química muy similar a una amplia variedad de compuestos que tienen múltiples propiedades y que son utilizados en diversas industrias. Estas aplicaciones hacen deseable que las modificaciones químicas de la estructura del limoneno (ya sean oxidación, epoxidación e hidroxilación, entre otras) se hagan a través del uso de sistemas biológicos utilizando hongos, bacterias y/o levaduras para la biotransformación de este monoterpeno (Sales y col., 2017; Groeneveld y col., 2016; Jongedijk y col., 2016; Molina y col., 2015). El limoneno promete ser una alternativa de la síntesis química orgánica, dado a que estos microorganismos son capaces de crecer en un amplio rango de sustratos orgánicos.

El presente documento versa sobre los procesos de biotransformación, las biotransformaciones de limoneno reportadas, así como los diferentes microorganismos empleados para llevar a cabo estas catálisis así como también las aplicaciones de los productos derivados de estos procesos.

TERPENOS

Los terpenos son compuestos orgánicos derivados del isopreno (2-metilbuta-1,3-dieno), constituidos por unidades básicas de cinco átomos de carbono (DNP, 2015). La oxidación en los esqueletos de carbono, las ciclaciones, la eliminación o los desplazamientos de protones y metilos pueden dar lugar a variaciones en sus estructuras, dando lugar a terpenos modificados (terpenoides), con otros grupos funcionales tales como alcoholes, aldehídos o cetonas (Lima y col., 2016). Los terpenos se clasifican según el número de unidades de isopreno como hemiterpenos (C₅), monoterpenos (C₁₀), sesquiterpenos (C₁₅), diterpenos (C₂₀), sesterpenos (C₂₅), triterpenos (C₃₀), tetraterpenos

(C₄₀) y politerpenos (más de 40 carbonos). Aunque estos compuestos presentan una biosíntesis y una estructura común, no desempeñan las mismas funciones (Lima y col., 2016). En las plantas, los terpenos se localizan sobre todo en las hojas, flores, frutos y en menor medida en el tallo, tronco y las raíces (Singh & Sharma, 2015).

Monoterpenos

Los monoterpenos son compuestos naturales, cuya composición está conformada por diez átomos de carbono agrupados en dos unidades isoprenicas (Breitmaier, 2006). Este grupo de compuestos se pueden encontrar en la naturaleza en hojas, tallos, cortezas, flores y frutos y se han reportado alrededor de 400 diferentes compuestos naturales (DNP, 2015). Los derivados oxigenados de este importante grupo de terpenos, llamados terpenoides se distinguen de otros compuestos en la naturaleza por poseer agradables olores. Estos terpenoides son reconocidos como compuestos GRAS (Generalmente reconocidos como seguros) lo que implica que pueden ser adicionados a alimentos para incrementar el valor organolépticos de los materiales (Davis y col., 2000).

Limoneno

El limoneno es uno de los monoterpenos más abundantes en la naturaleza, presenta dos formas enantioméricas; estos compuestos son considerados como los monoterpenos más abundantes sobre la tierra (Jongedijk y col., 2016). Ambos enantiómeros pueden ser encontrados en fuentes vegetales, el (S)(-)-limoneno en la menta, mientras que el (R)(+)-limoneno se encuentra como constituyente principal del aceite esencial de cítricos, alcanzando más del 90 % de la composición de estos aceites (Wu y col., 2017).

El limoneno tiene amplias aplicaciones industriales, debido a sus olores es apreciado como aromatizante; y por su peculiar sabor es utilizado también en la industria de alimentaria y de bebidas. Tiene amplio uso en la industria de la perfumería y cosmética para el desarrollo de productos de higiene personal (Chávez, 2015), además se le ha dado aplicaciones como agente de limpieza y como desengrasante natural (Aissou y col., 2017).

Estructura química del limoneno

El limoneno estructuralmente presenta enlaces dobles entre los carbonos C₁-C₂ y C₈-C₉ (Figura 1), esta peculiar estructura es similar a muchas otras estructuras de compuestos con aplicación industrial incluso más relevante que la propia del limoneno. Por esta razón, el limoneno ha sido utilizado como sustrato de reacción de compuestos químicos (Sales y col., 2019; Ravichandran y col., 2018).

Dentro de las posibles reacciones a llevarse a cabo sobre el limoneno destacan la oxidación (hidroxilación) en las

posiciones alílicas (C₃-C₆) y la epoxidación en los dobles enlaces por razones de estabilidad y reactividad química, sin embargo, es posible causar la oxidación de otros carbonos menos reactivos (Vieira y col., 2018). Estas reacciones químicas se ven limitadas debido a la similitud entre los grupos metilos y metilenos alílicos, por lo que se dificulta la síntesis dirigida a alguna de estas posiciones en particular (Ravichandran y col., 2018). El uso de biocatalizadores tales como células completas o bien enzimas hace posible un ataque dirigido y específico para una posición en particular lo que se vería reflejado en altos rendimientos.

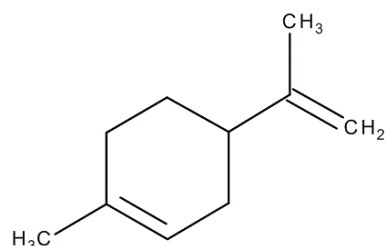


Figura 1. Estructura química del limoneno.

Limoneno como sustrato para la producción de derivados

El uso de limoneno como materia prima para la producción de otros derivados con estructura química a limoneno se lleva a cabo en la actualidad, la obtención de estos derivados de limoneno normalmente se hace a través de la síntesis química (Mkodizik y col., 2016; Geoghegan & Evans, 2014). Algunos compuestos derivados del limoneno más comunes, obtenidos por síntesis química orgánica son el alcohol perílico, perilaldehído, ácido perílico, carveol, carvona, α -terpineol y mentol (Figura 2). Una de las desventajas de la síntesis química son los bajos rendimientos de los productos debido a la baja enanteo y estereo-especificidad de las reacciones (Groeneveld y col., 2016; Zebec y col., 2016).

Los derivados más sobresalientes del limoneno por sus aplicaciones son compuestos oxigenados tales como el α -terpineol, carveol, carvona alcohol perílico, y mentol cuyo valor económico se eleva muy por encima del costo del limoneno (Sales y col., 2017; Groeneveld y col., 2016; Paduch y col., 2016). Estos compuestos derivados del limoneno han destacado por sus aplicaciones en diversas áreas industriales tales como actividades quimiopreventiva y/o quimioterapéutica (Tabla 1) contra una amplia variedad de cánceres, agentes que actúan como inhibidores de hongos patógenos para diversos cultivos como *Fusarium sulphureum*, *Phoma exigua* y *Helminthosporium solana*, además ha sido reportado con éxito la aplicación de estos compuestos como insecticidas naturales (De Carvalho y Da Fonseca, 2011).

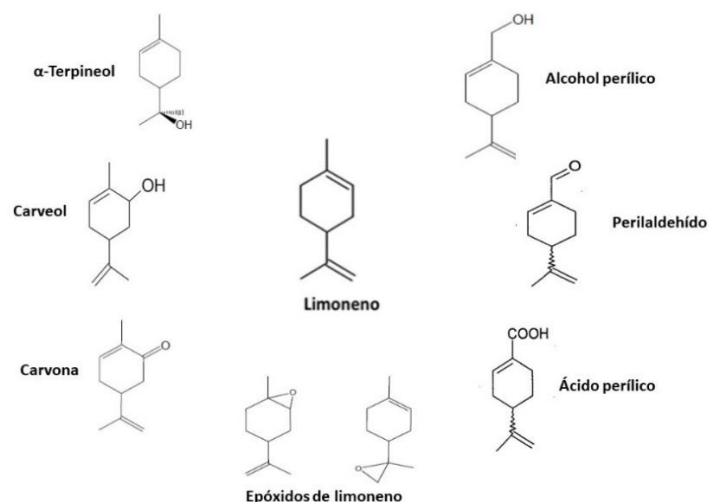


Figura 2. Estructura química del limoneno y de algunos de sus productos oxidados más sobresalientes.

Por tanto, la obtención de derivados oxigenados del limoneno son una tarea importante dadas sus múltiples aplicaciones. Por lo que la búsqueda de metodologías que permitan no solo la obtención de estos sino también el incremento en los rendimientos es una tarea apremiante.

Tabla 1. Actividades biológicas encontradas en compuestos derivados de limoneno.

Derivado de limoneno	Actividades y/o aplicaciones	Referencia
Alcohol perílico	Anticáncerígena Antiparasitaria	Marin-Rodríguez y col., 2018
		Sundin y col., 2012
Perilaldehído	Antiinflamatorios, Neuroprotectores, Antidepresivos Antifúngico Antibacteria Efecto vasodilatatorio Sedante	Fujiwara & Ito, 2017
		Tian y col., 2015.
		Takagi y col., 2005
Carvona	Antihipertensivo Antioxidante Antihiperlipidémico Antimicrobiano Insecticida natural	Thamizharasi, y col., 2019 Goñi y col., 2018

α -Terpineol	Antiinflamatorio	
	Repelente de insectos	
	Antifúngico	dos Santos
	Anticonvulsivo	Negreiros y col., 2019
	Desinfectante	
Epóxidos de limoneno	Efecto sobre lesión gástrica	Marostica y Pastore, 2007
	Antidiarreico	
	Efecto cardiovascular	
	Precursor de <i>p</i> -menten-9-al,	
	Aditivo GRAS	Rehman y col., 2019
	Síntesis de policarbonatos	Charbonneau & Kaliaguine, 2017
	Síntesis de materiales termoestables, elastómeros y termoplásticos	Van der Werf y col. 2000

Bioconversiones del limoneno

La biotransformación microbiana es un proceso en donde un organismo modifica una sustancia química transformándola en una diferente, esto a través de reacciones que son llevadas a cabo por las enzimas propias de los microorganismos bajo condiciones apropiadas de trabajo. La biotransformación puede definirse como el uso de sistemas biológicos para producir cambios químicos sobre compuestos que no suelen ser sus sustratos naturales (Chávez-González, 2015; Bhatti y col., 2014).

Es posible lograr llevar a cabo modificaciones estructurales del limoneno a través del uso de sistemas biológicos (hongos, bacterias, levaduras) (Houjin y col., 2006; Sharma & Tripathi, 2008) y aprovechando la maquinaria metabólica inherente a estos microorganismos (Paduch y col., 2016; Trytek y col., 2016). El limoneno al ser uno de los monoterpenos más abundantes en las especies vegetales es un compuesto natural susceptible a ser transformado biocatalíticamente para generar compuestos oxi-derivados con amplias aplicaciones constituyendo a la biotransformación de terpenos a través de microorganismos como un método alternativo bastante atractivo para la producción de diversos productos (Jucoski y col., 2016).

La conversión biocatalítica de D-limoneno fue considerado hasta los 1960s (Dhavalikar y Battacharyya, 1966) y diversas transformaciones microbianas de D-limoneno han sido descritas desde entonces (Paduch y col., 2016).

Una estrategia común para obtener enzimas por la oxidación regio y/o enantioespecífica de carbonos es la evaluación de las vías biodegradativas en aislados bacterianos obtenidos por enriquecimiento selectivo. La aplicación de esta estrategia para D-limoneno ha tenido un éxito limitado hasta ahora. En muchos estudios sobre elucidación de las vías de

degradación de D-limoneno, sugieren rutas basadas primeramente sobre la estructura de los compuestos acumulados y sobre una inducción simultánea.

El primer estudio de biodegradación fue realizado en el Laboratorio Químico Nacional de la India en Poona en 1960s (Dhavalikar y Bhattacharyya, 1966). Los autores aislaron una cepa de *Pseudomonas* capaz de crecer con D-limoneno como única fuente de carbono y energía. Los compuestos acumulados durante el crecimiento sobre D-limoneno fueron extraídos del medio de cultivo y fueron fraccionados usando diferentes solventes y valores de pH. El trabajo analítico (principalmente en TLC y RMN) mostró la acumulación de dihidrocarvona, carvona, carveol, limoneno 1,2-cis-diol, 1-hidroxi-oxo-limoneno, limoneno-1,2-trans-diol, limoneno-6,9-diol, ácido perílico, ácido β -isopropenilpimélico, ácido 2-hidroxi-8-p-menten-7-oico y ácido 6,9-dihidroxiperílico en cantidades incuantificables.

De estos resultados y de experimentos simultáneos de inducción, los autores concluyeron que los ataques del microorganismo a la molécula de limoneno son en varias posiciones y que la principal vía en esta cepa probablemente inicia con la hidroxilación a la posición 7 produciendo alcohol perílico. La subsecuente oxidación a ácido perílico, hidratación del doble enlace C=C, seguido por una vía análoga para regular la β -oxidación, resultando en una completa oxidación.

El sistema modelo para estudiados de biotransformación de limoneno ha sido llevado a cabo en cepas de *Pseudomonas*. Por ejemplo, ha sido reportado el uso de *P. incognita* (originalmente aislada con linalol como única fuente de carbono) convirtió el D-limoneno a ácido perílico y ácido β -isopropenilpimélico (Rama y Bhattacharyya, 1997). Cadwallader, y col., (1989) reportaron el uso de una cepa de *Pseudomonas gladioli* la cual era degradante de D-limoneno y daba como producto de degradación al ácido perílico y la posterior generación de α -terpineol. Speelmans y col., (1998) también aislaron una cepa (*P. putida* GS1) con D-limoneno como única fuente de carbono en donde fue demostrada la producción de ácido perílico. En un estudio reportado por Chatterjee & Bhattacharyya (2001) se evaluó una cepa de *Pseudomonas* con capacidades degradantes de D-limoneno (*P. putida* MTCC 1072), los resultados demostraron que la bacteria fue capaz de acumular alcohol perílico y limoneno 6,8 diol en una proporción 4:5 durante el crecimiento sobre D-limoneno. Un trabajo más fue el reportado por Mirata y col., (2009) en donde evaluaron el poder biotransformante de *P. putida* en donde el principal producto fue alcohol perílico a partir de limoneno.

Groeneveld y col., (2016) identificaron un clúster de genes que codifican para cuatro componentes de oxigenasas que son las responsables para oxidar la estructura de D-limoneno, además encontraron que la expresión heteróloga de éste sistema en *Pseudomonas putida* da origen al compuesto (+)-trans-carveol mediante biotransformación. Schewe y col., en 2011 reportaron biotransformaciones de

monoterpenos, específicamente biooxidaciones, por enzimas bacterianas (monooxigenasas). Las biostranformaciones se llevaron a cabo por *Pseudomonas sp.*, *Novosphingobium aromaticivorans*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus licheniformis*, *Citrobacter braakii*, *Bacillus cereus*, *Xanthobacter sp.*, *Bacillus stearothermophilus*, *Mycobacterium sp.*, *Rhodococcus sp.* De los productos obtenidos de la biotransformación fueron Limoneno-8,9-epóxido, alcohol perílico, carvona, α -terpineol, ácido perílico, oxido pineno.

Cepas degradantes de alcanos principalmente del género *Rhodococcus* y *Mycobacterium* también han sido reportadas por que fueron encontradas con capacidades para hidroxilar al D-limoneno y al L-limoneno exclusivamente en la posición 7, produciendo alcohol perílico (Kim y col., 2018; Duetz y col., 2001). Carvalho & da Fonseca (2003) evaluaron la cepa de *Rhodococcus opacus* PW4 para producir los isómeros de carveol (cis y trans) y carvona a través de la bioconversión catalítica de limoneno empleando sistemas bifásicos para mejor los procesos de extracción de los compuestos. En algunas cepas el alcohol perílico fue parcialmente o completamente oxidado al correspondiente aldehído y ácido, probablemente por la acción de deshidrogenasas no específicas.

Además especies del género *Bacillus* han sido reportadas por poseer capacidad biotransformante, dentro de los productos recuperados destacan el carveol, la carvona, pinocarvona y pinocarveol (Vespermann y col., 2017)

Sí bien, existen trabajos ya reportados en los cuales se aborda la biotransformación de terpenos mediante el uso de microorganismos la mayoría de estos versan sobre bacterias y levaduras (Bier y col., 2017; Willrodt y col., 2017), dándole poco uso a los sistemas que emplean hongos filamentosos; por lo que realizar estudios en donde se evalúe el poder biotransformante de hongos es necesario. Sobre todo cuando en algunos otros sistemas de biotransformación, los hongos filamentosos han mostrado tener capacidades superiores a las de bacterias y levaduras para crecer en medios de cultivo específicos. Algunos de los reportes más relevantes empleando sistemas fúngicos se describen a continuación:

Hongos como *Fusarium oxysporum* han sido utilizado como célula catalítica para la conversión de limoneno en α -terpineol, esta catálisis fue llevada a cabo bajo condiciones anaeróbicas empleando sistemas bifásicos que permitieran una mejora en el proceso de extracción del derivado oxigenado (Molina y col., 2015). Los microorganismos se han usado ampliamente para la hidroxilación de terpenoides y esteroides para producir derivados de importancia sintética y comercial. *Aspergillus niger* es uno de los microorganismos que ha sido reportado por llevar a cabo una variedad de reacciones en compuestos terpenoidales, incluyendo oxidaciones, reducciones y lactonizaciones. (Mohammad y col., 2018).

Además de la búsqueda de microorganismos con capacidad biotransformante, la búsqueda por el diseño de medios de cultivo que favorezcan los procesos de biotransformación también ha sido una tarea apremiante. En este sentido algunos trabajos se han enfocado al empleo de residuos agroindustriales, Bier & Medeiros (2017) reportaron el empleo de un medio de cultivos sintéticos y naturales haciendo uso de cáscara de naranja. Ellos demostraron la capacidad biotransformante de *Phomopsis sp.* para actuar sobre el limoneno y producir compuestos tales como terpinen-4-ol, limonene-1,2-diol, carveol, mentol. Los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* han sido reportados que pueden transformar monoterpenos en interesantes productos empleando diversos medios de cultivo minerales y orgánicos (Chávez-González, 2015).

Otra ventaja de la biotransformación es que los microorganismos en especial los hongos tienen la habilidad de crecer a temperaturas ambientales, reduciendo el gasto de energía (Sales y col., 2017).

CONCLUSIONES

El uso de sistemas biológicos para llevar a cabo modificaciones químicas sobre el monoterpeno limoneno constituye una alternativa eficiente para la obtención de compuestos químicos de interés. Han sido reportados un amplio número de microorganismos con la capacidad de llevar a cabo estas modificaciones estructurales, teniendo como productos un gran número de compuestos con múltiples actividades biológicas que son apreciables en diversas áreas industriales. No obstante es necesario llevar a cabo estudios que mejoren los procesos de biotransformación para así mejorar los rendimientos de los productos de interés y las condiciones de procesamiento, así mismo también es de vital importancia la búsqueda y evaluación de nuevos sistemas biológicos con características biotransformantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Aissou, M., Chemat-Djenni, Z., Yara-Varón, E., Fabiano-Tixier, A. and Chemat, F. 2017. Limonene as an agrochemical building block for the synthesis and extraction of bioactive compounds. *Comptes Rendus Chimie*. 20(4): 346-358.
- Bhatti, H., Khan, S., Khan, A., Rani, M., Ahmad, V. and Choudhary, M. 2014. Biotransformation of monoterpenoids and their antimicrobial activities. *Phytomedicine*, 21(12), pp.1597-1626.
- Bier, M.C.J., Medeiros, A.B.P. 2017. Biotransformation of limonene by an endophytic fungus using synthetic and orange residue-based media. *Fungal Biology*. 121: 137-144.

- Breitmaier, E. 2006. Hemi- and Monoterpenes. Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmaca, Pheromones. DOI:10.1002/9783527609949.ch2.
- Carvalho, C.C.C.R., da Fonseca, M.M.R. 2003. Towards the bio-production of trans-carveol and carvone from limonene: induction after growth on limonene and toluene. *Tetrahedron: Asymmetry*. 14: 3925-3931.
- Cadwallader, K.R., Braddock, R.J., Parish, M.E., Higgins, D.P. 1989. Bioconversion of (+)-limonene by *Pseudomonas gladioli*. *Journal of Food Science*. 54: 1241-1245.
- Charbonneau, L., Kaliaguine, S. 2017. Epoxidation of limonene over low coordination Ti in Ti-SBA-16. *Applied Catalysis A: General* 533:1-8.
- Chávez, M.L. 2015. Aprovechamiento de residuos de la industria cítrica para la obtención de limoneno y su biotransformación. Tesis para obtener grado de doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Coahuila, Coahuila, México.
- Davis, Edward M.; Croteau, Rodney. 2000. Cyclization enzymes in the biosynthesis of monoterpenes, sesquiterpenes, and diterpenes. *Topics in Current Chemistry*. 209: 53–95.
- de Carvalho, C.C.C.R. and da Fonseca, M.M.R. 2011. Biotransformations. *Comprehensive Biotechnology*, Volume 2, Pages 451-460.
- Dhavalikar, R.S., Rangachari, P.N., Bhattacharyya, P.K. 1966. Microbiological transformation of terpenes. IX. Pathways of degradation of limonene in a solid *Pseudomonas*. *Indian J. Biochem.* 3(3): 158-64.
- Dictionary of natural products (2015) Taylor & Francis Group. Press, CRC Accessed December 2018.
- dos Santos Negreiros, P., Soares da Costa, D., Gomes da Silva, V., de Carvalho Lima, I.B., Barbosa Nunes, D., de Melo Sousa, F.B., Lopes Araújo, T.S., Rolim Medeiros, J.V., Ferreira dos Santos, Meneses Oliveira, R.C. 2019. Antidiarrheal activity of α -terpineol in mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*- 110:631-640
- Geoghegan, K. & Evans, P. 2014. Synthesis of (+)- perillyl alcohol from (+)-limonene. *Tetrahedron Letter*. 55:1431-1433.
- Hegazy M-E. F, Mohamed T.A, ElShamy A. I, Mohamed A. H, Mahalel U. A, Reda E. H, Shaheen A. M, Tawfik W. A, Shahat A. A, Shams K. A, Abdel-Azim N. S, Hammouda F. M. 2015. Microbial biotransformation as a tool for drug development based on natural products from mevalonic acid pathway: A review. *Journal of Advanced Research*.6, 17–33.
- Jongedijk, E., Cankar, K., Buchhaupt, M., Schrader, J., Bouwmeester, H., & Beekwilder, J. 2016. Biotechnological production of limonene in microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(7), 2927–2938.
- Jucoski BIER, MC, Pedroni Medeiros, Ab, Soccol, CR. 2017. Biotransformation of limonene by an endophytic fungus using synthetic and orange residue-based media. *Fungal biology* 121 137-144.
- Fujiwara, Y., Ito, M. 2017. Molecular cloning and characterization of a *Perilla frutescens* cytochrome P450 enzyme that catalyzes the later steps of perillaldehyde biosynthesis. *Phytochemistry*. 134: 26-37.
- Goñi, M.L., Gañán, N., Martini, R.E., Andreatta, A.E. 2018. Carvone. Loaded LDPE films for active packaging: Effect of supercritical CO₂ assisted impregnation on loading, mechanical and transport properties of the films. *The Journal Of Supercritical Fluids*. 133:28-290
- Goswamia R.P, Jayaprakashaa G.K, Shettyb K, and Patila, B.S. 2018. *Lactobacillus plantarum* and natural fermentation-mediated biotransformation of flavor and aromatic compounds in horse gram sprouts. *Process Biochemistry* 66, 7–18.
- Groeneveld, M., van Beek, H.L., Duetz, W.A., Fraaije, M.W. 2016. Identification of a novel oxygenase capable of regiospecific hydroxylation of D- limonene into (+)-trans-carveol. *Tetrahedron*, 72: 7263-7267.
- Houjin, L., Wenjian, L., Chuanghua, C., Yipin, Z., Yongcheng, L. 2006. Biotransformation of limonene by Marine Bacteria. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*. 34 (7): 946-950.
- Kim, D., Choi, K.Y., Yoo, M., Zylstra, G.J., Kim, E. 2018. Biotechnological potential of *Rhodococcus* biodegradative pathways. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28 (7): 1037-1051.
- Li, H., You, J., Wang, W.X. 2018. Multi-compartmental toxicokinetic modeling of fipronil in tilapia: Accumulation, biotransformation and elimination. *Journal of Hazardous Materials*. 360: 420-427.
- Lima, P., Lucchese, A., Araújo-Filho, H., Menezes, P., Araújo, A., Quintans-Júnior, L. and Quintans, J. 2016. Inclusion of terpenes in cyclodextrins: Preparation, characterization and pharmacological approaches. *Carbohydrate Polymers*. 151: 965-987.
- Marin-Rodríguez, A. A., Carvalho, L.J.M., Kimura, E.A., Katzin, A.M. 2018. Perillyl alcohol exhibits in vitro inhibitory activity against *Plasmodium falciparum* and protects against experimental cerebral malaria. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 51: 370-377.
- Maróstica Júnior, M., Pastore, G. 2007. Biotransformação de limoneno: uma revisão das principais rotas metabólicas, *Quim. Nova*. 30(2): 382-387.
- Mirata, M.A., Heerd, D., Schrader, J. 2009. Integrated bioprocess for the oxidation of limonene to perillic acid with *Pseudomonas putida* DSM 12264.
- Mkodzik, J., Wróblewska, A., Makuch, E., Wróbel, R.J., Michalkiewicz, B. 2016. Fe/ Euro Ph catalysts for limonene oxidation to 1,2-epoxylimonene, its diol, carveol, carvone and perillyl alcohol.

- Mohammad, M. Y., Shakya, A., Al-Bakain, R., Haroon, M. H., & Choudhary, M. I. 2018. New monoterpeneoid by biotransformation of thymoquinone using *Aspergillus niger*. *Bioorganic Chemistry*, 80, 212–215.
- Molina, G., Bution, M.L., Bicas, L.L., Dolder, M.A.H., Pastore, G.M. 2015. Comparative study of the bioconversion process using R-(+)- and S-(-)-limonene as substrate for *Fusarium oxysporum* 152B. *Food Chemistry*. 174: 606-613.
- Nankai H, Miyazawa M, Kameoka H. Hydroxylation of 2 saturated acyclic monoterpenoids, tetrahydrogeraniol and tetrahydrolavandulol, by the plant-pathogenic fungus *glomerella-cingulata*. *J Nat Prod* 1997;60(3):287–9.
- Nighat, S., Zafar, S.S. 2013. Enzymatic biotransformation of terpenes as bioactive agents. *J. Enzyme. Inhib. Med. Chem.* 28 (6) 1113–1128.
- Ormeño, E., Fernández, C. Los terpenos de las plantas. 2012. *Investigación y ciencia*.
- Paduch, R., Trytek, M., Król, S.K., Kud, J., Frant, M., Kandefer-Szerszen, Fiedurek, J. 2016. Biological activity of terpene compounds produced by biotechnological methods. *Pharmaceutical Biology*. 54 (6):1096-1107.
- Rama, D.J. & Bhattacharyya, P.K. 1977. Microbiological transformations of terpenes. Part XXIII. Fermentation of geraniol, nerol and limonene by soil *Pseudomonad*, *Pseudomonas incognita* (linalool strain). *Indian J. Biochem. Biophys.* 14: 288-291.
- Ravichandran, C., Badgujar, P.C., Gundev, P., Upadhyay. 2018. Review of toxicological assessment of d-limonene, a food and cosmetics additive. *Food and Chemical Toxicology*. 120: 668-680.
- Rehman, A., López Fernández A.M., Gunam Resul, M.F.M., Harvey, A. 2019. Highly selective, sustainable synthesis of limonene cyclic carbonate from bio-based limonene oxide and CO₂: A kinetic study.
- Sales, A., Moreira, R.C., Pastore, G.M., Bicas, J.L. 2019. Establishment of culture conditions for biotransformation of R-(+)-limonene to limonene-1,2-diol by *Colletotrichum nymphaeae* CBMAI 0864. *Process Biochemistry*. 78: 8-14.
- Sales, A., Afonso, L. F., Americo, J. A., de Freitas Rebelo, M., Pastore, G. M., & Bicas, J. L. 2017. Monoterpene biotransformation by *Colletotrichum* species. *Biotechnology Letters*, 40(3), 561–567
- Schewe, H., Mirata, M., Holtmann, D., & Schrader, J. 2011. Biooxidation of monoterpenes with bacterial monooxygenases. *Process Biochemistry*, 46, 1885–1899.
- Singh, B., & Sharma, R. A. 2015. Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. *3 Biotech*. 5 (2): 129–151.
- Sharma, N. and Tripathi, A. 2008. Effects of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) Van Tieghem. *Microbiological Research* 163. pp. 337–344.
- Speelmans, G., Bijlsma, A., Eggink, G. 1998. Limonene bioconversion to high concentrations of a single and stable product, perillic acid, by a solvent-resistant *Pseudomonas putida* strain. *Appl. Microbiol Biotechnol*. 50: 538-544.
- Sultana, N. 2018. Microbial biotransformation of bioactive and clinically useful steroids and some salient features of steroids and biotransformation. *Steroids*. 136: 76-92.
- Sundin, T., Peffley, D.M., Gauthier, D., Hentosh, P. 2012. The isoprenoid perillyl alcohol inhibits telomerase activity in prostate cancer cells. *Biochimie*. 94: 2639-2648.
- Takagi, S., Goto, H., Shimada, Y., Nakagomi, K., Sadakane, Y., Hatanaka, Y., Terasawa, K. 2005. Vasodilative effect of perillaldehyde on isolated rat aorta. *Phytomedicine* 12: 333-337.
- Thamizharasi, G., Sindhu, G., Veeravarmal, V., Nalini, N. 2019. Preventive effect of D-carvone during DMBA induced mouse skin tumorigenesis by modulating xenobiotic metabolism and induction of apoptotic events. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 111: 178-187.
- Tian, J., Zeng, X., Lü, A., Zhu, A., Peng, X. Wnag, Y. 2015. Perillaldehyde, a potential preservative agent in foods: Assessment of antifungal activity against microbial spoilage of cherry tomatoes. *Food Science and Technology*. 60:63-70.
- Trytek, M., Fiedurek, J., Gromada, A. 2016. Effect of some abiotic stresses on the biotransformation of α -pinene by a psychrotrophic *Chrysosporium pannorum*. *Biochemical Engineering Journal*. 112: 86-93.
- van der Werf MJ, Keijzer PM, van der Schaft PH. 2000. *Xanthobacter* sp. C20 contains a novel bioconversion pathway for limonene. *J Biotechnol*. 84:133–143.
- Vespermann, K. A. C., Paulino, B. N., Barcelos, M. C. S., Pessôa, M. G., Pastore, G. M., & Molina, G. 2017. Biotransformation of α - and β -pinene into flavor compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology* 101(5), 1805–1817. doi:10.1007/s00253-016-8066-7.
- Vieira, A.J., Beserra, F.P., Souza, M.C., Totti, B.M., Rozza, A.L. 2018. Limonene: Aroma of innovation in health and disease. *Chemico-Biological Interactions*. 283: 97-106.
- Willrodt, C., Halan, B., Karthaus, L., Rehdorf, J., Julsing, M.K., Buehler, K., Schmid, A. 2017. Continuous multistep synthesis of perillic acid from limonene by catalytic biofilms under segmented flow. *Biotechnology and Bioengineering*. 114(2):281-290.
- Wu, F., Jin, Y., Xu, X., Yang, N. 2017. Electrofluidic pretreatment for enhancing essential oil extraction from citrus fruit peel waste. *Journal of Cleaner Production*. 159: 85-94.
- Zebec, Z., Wilkes, J., Jervis, A.J., Scrutton, N.S., Takano, E., Breitlin, R. 2016. Towards synthesis of monoterpenes

and derivatives using synthetic biology. *Current Opinion in Chemical Biology*. 34:37–43.

Residuos sólidos en una institución universitaria: caracterización y propuestas de reducción

Solid waste in a university campus: characterization and proposals for reduction

Gómez-Méndez, M.G*, Ortega-Nuñez, M.G., Castro, L.M., Córdova-Lozoya, M.T., Morales-Corral, D

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario s/n. Campus Universitario II. 31125. Chihuahua, Chih. México. Autor para correspondencia: mgomezg@uach.mx

Resumen

La generación de residuos sólidos se relaciona íntimamente con las actividades humanas, generando un problema ambiental grave. Se requieren métodos para su tratamiento, disminución y/o disposición, pero es necesario primero conocer la cantidad y el tipo de residuos producidos. Las instituciones educativas son espacios propicios para difundir y promover la consciencia ambiental, por lo que el objetivo del presente trabajo fue realizar la caracterización de los residuos sólidos generados en la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Se colectaron los residuos sólidos en laboratorios y aulas durante una semana, en dos temporadas del año. Los residuos se clasificaron manualmente de acuerdo con su semejanza y se pesaron. La cantidad de residuos generados durante el año escolar es de 7,632 kg de residuos. Los resultados indicaron que se generaron 26.6% de residuos de alimentos, 26.1% de residuos sanitarios, 9.5% de plástico en general, 2.2% de bolsas de plástico, 1.5% de botellas de plástico, 4.1% de recipientes de poliestireno, 2.7%, latas de aluminio, 1.3% de envolturas aluminizadas, 5.0% de cartón, 3.6% de papel, 3.8% de vidrio y otros 13.6%. El 17% son materiales reciclables; se deben buscar formas de reducir los residuos o sustituirlos por productos biodegradables.

Palabras clave: Educación ambiental, Residuos sólidos, reciclaje, Universidades

Abstract

Generation of solid waste generation is intimate related to human activities, and is a severe environmental problem. It requires methods for its treatment or disposal, but first it is necessary to assess the quantity and type of residues produced. Educational institutions are proper spaces to promote environmental conscience, and based on this assumption, the aim of this work was to characterize the solid waste generated at the School of Chemical Sciences, Autonomous University of Chihuahua. Solid waste was collected in the laboratory and classroom areas during one week, during two seasons. Residues were manually classified according to its similarity and were weighed. This study was conducted in the winter of 2013 and summer of 2014. The waste generated during the school year was of 7,632 kg of waste. The results indicate that 26.6% are generated food waste, 26.1% of medical waste, plastic 9.5% overall, 2.2% of plastic bags, 1.5% of plastic bottles, 4.1% of polystyrene containers, 2.7% aluminum cans, aluminized wrappers 1.3%, 5.0% cardboard, paper 3.6%, 3.8% glass and 13.6% other. Materials that can be recycled account for 17%; it is necessary to find ways to diminish the generation of solid waste, or to replace materials by biodegradable products.

Keywords: Environmental education Solid residues, Recycling, Universities

INTRODUCCIÓN

En cualquier lugar que habite un individuo genera residuos sólidos; por la acumulación de población, en grandes comunidades los residuos aumentan y representan un problema ambiental mayor. Es fundamental promover el

manejo adecuado de residuos sólidos para tener un ambiente saludable. Por su naturaleza de generación y difusión del conocimiento, las instituciones educativas de nivel superior, pueden ser un lugar para fomentar actitudes y comportamientos de preservación del ambiente (Serna Ramírez, 2007). Entre las competencias relacionadas con el

cuidado del ambiente, se incluye el conocimiento sobre el reciclaje, reuso o reducción de la basura, propiciando la separación de residuos para su posterior tratamiento (Zhang y col., 2017). Existe preocupación en las universidades por conocer la composición de los residuos sólidos generados, para ello se han enfocado en realizar este tipo de estudios. La Universidad de *Kebangsaan Malaysia*, desde el 2008 realizó un convenio entre la universidad y una compañía que maneja residuos sólidos para convertirse en un “campus cero residuos” (Kian-Ghee Tiew y col., 2010). Así empezaron a realizar estudios de caracterización de residuos sólidos, encontrando que los residuos orgánicos se generan en gran cantidad y con alto contenido de humedad; dentro de su estudio midieron contenido de humedad, pH, carbono, nitrógeno y densidad, de acuerdo a las normas de la ASTM (Sasabili y col., 2010).

También en *Malaysia*, en la Universidad Tecnológica *Petronas* se realizó un estudio para caracterizar y cuantificar los residuos sólidos generados y poder sugerir un sistema de reciclado. Este estudio se llevó a cabo en 17 edificios del campus. Se aplicó una encuesta entre estudiantes para conocer su concientización con respecto al reciclado, obteniendo que un 80% les interesaba participar en un sistema de reciclado. Los residuos se recolectaron en cada edificio, realizaron la separación y el pesado de diferentes fracciones. El resultado indica que el papel fue el residuo sólido con mayor abundancia con un 40% y seguida por residuos orgánicos con un 30% (Malakahmad y col., 2010). En un estudio reciente, se reporta el resultado del programa de Oficinas Verdes en la misma Universidad, en donde se presentan los problemas asociados con la implementación de políticas ambientales, pero cómo esta estrategia puede servir como laboratorio de aprendizaje para los estudiantes universitarios. Los autores reportan una reducción de hasta un 58% en el desperdicio de papel, en 3 años del programa (Zen y col., 2016).

Actualmente, en algunos centros educativos de la ciudad de *Chihuahua* se inicia con la separación de residuos con posibilidad de venta y utilizan los recursos obtenidos en la propia institución. Sin embargo, para proporcionar un tratamiento adecuado a los residuos, es primordial conocer la composición y cantidad generada (Smyth y col., 2010). En la Universidad de *Lagos*, en *Nigeria*, se realizó igualmente un estudio de los residuos generados en su campus, demostrando que un 75% del material desechado puede ser reciclado. Destaca el uso de bolsas plásticas como uno de los residuos que más se generan (24%), seguido de papel y material orgánico (15% cada uno). Es importante destacar que el esfuerzo por reducción de residuos, debe estar acompañado por políticas universitarias de reducción de residuos (Adeniran y col., 2017).

Los programas de reciclaje son los más populares, pues se considera una mejora al disminuir la cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario y con ello proteger al medio ambiente. En el campus *Prince George* de la Universidad de *Northern British Columbia* (UNBC), se realizó un estudio de caracterización sobre los residuos generados para conocer los materiales producidos en las diferentes áreas del campus. Este estudio reporta 49.34% de materiales reciclables, 28.42% de no reciclables y 21.61% de compostables (Smyth y col., 2010). Según *Báreková y Franeková* (2015) concluyen que de los residuos generados en los dormitorios *Mladost'* de la Universidad Eslovaca de Agricultura en *Nitra*, pudieran ser reciclados o utilizados en compostaje hasta un 76%, siempre y cuando se realice una separación adecuada de los mismos. Por otra parte, es importante estar retroalimentando constantemente a los universitarios sobre la importancia de reciclar.

Recientemente se presentó también la composición global de los residuos orgánicos generados en la Universidad *Jaume I* en *España*, durante un año académico. Los autores reportan materiales como material orgánico, plástico, metal y vidrio, con valores similares a otros reportes. Destaca la identificación de material peligroso generado en laboratorios universitarios, que debe ser de especial importancia, por la generación de residuos químicos o biológicos de alto riesgo (Gallardo y col., 2016). La importancia del manejo y disposición de residuos químicos, se destaca en un estudio de generación de residuos por un espacio de cinco años, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de *Nuevo León*, en *México* (Ramírez-Lara y col., 2017).

En *México*, el Instituto Tecnológico Autónomo de *México* (ITAM), Universidad Autónoma de *México* (UNAM), la Universidad de *Guadalajara*, el Tecnológico de *Monterrey*, reportan programas sobre el manejo de residuos y reciclaje (Armijo y col., 2008). En la Universidad *Iberoamericana* se caracterizaron los residuos generados en el campus, y se reportó 52% de materia orgánica para composta, 27% con posibilidad de reciclar y 21% a depositar en el relleno sanitario (Ruiz Morales 2012).

Por otro lado también en la Universidad de Ciencias y Artes de *Chiapas* se realizó un estudio con la finalidad de conocer la manipulación que se le estaba dando a los residuos sólidos. Los resultados muestran que se generan alrededor de 678 Kg/día, y la proporción por persona es de 143 g/persona-día. En relación con la caracterización de los residuos sólidos, la fracción de mayor abundancia fue la materia orgánica (23%), seguido del plástico y vidrio con 26% y 28% respectivamente, en tanto que el papel y el cartón representan un 8%. Resaltan entre los residuos de menor proporción la madera, el unicel y el aluminio. Sin embargo, se presentó un 11% de materia mezclada, lo que dificulta su separación y clasificación. (Vera y col., 2016).

En la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, se ha iniciado un programa de separación de residuos sólidos. Como un primer paso del programa, se requiere primeramente conocer la cantidad y tipo de residuos generados (Smyth y col., 2010). Tomando en consideración la población de la Facultad al momento de recabar la información, se contaba con 1717 residentes, correspondiendo el 82% a los alumnos, 12% docentes, y 6% al personal administrativo. Los espacios físicos de la Institución incluyen dos edificios de aulas docentes, un edificio de laboratorios, un edificio administrativo, una cafetería y una biblioteca. Los dos últimos edificios se comparten con la Facultad de Ingeniería. El propósito del presente estudio fue caracterizar y cuantificar los residuos sólidos generados en la Facultad de Ciencias Químicas, como base para programas de reciclado y disminución de residuos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización y cuantificación de los residuos sólidos consistió en la recolección diaria de los residuos generados en dos áreas (académica y laboratorios), durante seis días a la semana en temporada invernal y en verano. Se recolectaron botes con residuos generados en 48 salones de clases o aulas, botes con residuos de papel de dieciséis sanitarios (para hombres y mujeres). También existen ocho tambos metálicos de 200 L para residuos separado (papel-cartón, plástico, metal y orgánico) colocados entre los dos edificios y otros cuatro para residuos en general.

El área de laboratorios es un edificio de tres niveles, que se utiliza para fines académicos y de investigación. Se consideraron como residuos sólidos, los materiales colocados en los botes de basura de laboratorios y cubículos de los maestros responsables de los mismos. Además, los residuos de los sanitarios para hombres y mujeres en cada piso. Fuera del edificio de laboratorios se encuentran cuatro tambos metálicos para la separación de residuos. No se consideraron los residuos químicos o biológico-infecciosos, pues estos se recolectan por separado.

El procedimiento para la caracterización de los residuos sólidos consistió en:

1. Se recolectaron diariamente las bolsas de plástico con los residuos de cada uno de los botes de basura de las áreas descritas anteriormente.
2. Se trasladaron y se vaciaron los contenidos de las bolsas sobre una mesa.
3. Visual y manualmente, se separaron los residuos de materiales semejantes y se colocaron en el recipiente identificado para cada fracción. Al llenarse el recipiente, se pesó en una báscula de mesa digital y se registró el dato.

4. Los residuos sanitarios se pesan en su bolsa respectiva, sin abrirla.
5. Los líquidos (jugos, agua, café, refrescos, etc.) se vaciaron, los recipientes se separaron y se pesaron sin líquidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los edificios considerados en este estudio fueron las aulas y los laboratorios, donde generalmente desarrollan sus actividades los estudiantes, personal administrativo y docente. Los residuos considerados para realizar la caracterización de residuos fueron separados según la metodología antes mencionada. Las fracciones con características semejantes se separaron, se contabilizaron las diferentes fracciones y las de menor cantidad se agruparon en "otros" (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Caracterización y descripción de los residuos sólidos generados en la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua.

Residuos sólidos	Descripción
Alimenticios	Residuos de frutas, elotes, burritos, papas fritas, pastel, galletas, etc.
Sanitarios	Toallas de papel, toallas sanitarias, cosméticos, cajas pequeñas de cartón, envoltura de medicamentos, etc.
Plástico en general	Recipientes de jugos, yogurt, productos de limpieza, recipientes pequeños de chocolates o galletas.
Bolsas de plástico	Bolsas transparentes donde fueron colocados alimentos o de diferentes productos.
Botellas de plástico	Botellas de agua y refrescos.
Recipientes de poliestireno	Platos, vasos, contenedores para alimentos.
Latas de aluminio	Latas de refresco y de jugo.
Bolsas aluminizadas	Bolsas de frituras, galletas, papas fritas, productos de panificación, cacahuates, etc.
Cartón	Cajas de: empaque, leche, chocolate, guantes desechables, rollos de cartón, pizza, galletas.
Papel	Hojas de reportes escritos, cuadernos, impresiones, etc.
Vidrio	Botellas de jugo, envases de residuos químicos, frascos de café, etc.
Otros	Bata de laboratorio, calentón eléctrico, fibra de vidrio, palos de paletas, bolsa con sal de mesa, cajas Petri vacías, hojas de aluminio, jeringa sin aguja, reloj de pared.

Las fracciones generadas en mayor cantidad son los residuos de alimentos, lo mismo, los residuos sanitarios, sobre todo el papel sanitario depositado en los botes de basura y no en el retrete. El plástico se separó en tres partes: plástico en general, bolsas de plástico y botellas de plástico. En la primera parte se incluyeron recipientes difíciles de reciclar o

en poca cantidad. En cuanto a las bolsas de plástico ésta se consideró debido a la gran cantidad generada y las botellas de plástico por su posibilidad de ser recicladas.

Se separó los recipientes de poliestireno, tanto los que sirvieron para el traslado de alimentos y que quedaron con residuos de estos, como los vasos para café y té. Estos aumentaron el volumen de los residuos y son difíciles de reciclar. Las latas de aluminio se separaron por ser de interés en reciclaje, al igual que el vidrio, cartón y papel de hojas de cuaderno. En cuanto a las bolsas aluminizadas, el comité ambiental de la facultad las separó para enviarlas a un reciclador de otra ciudad. La fracción de otros corresponde a residuos que no se pudieron contabilizar en las fracciones antes mencionadas.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la cuantificación de residuos generados en las aulas y en los laboratorios de la institución, que corresponden al muestreo del mes de mayo de 2013 y febrero de 2014. La mayor cantidad de residuos producidos fue la fracción de alimentos, en segundo lugar, la de sanitarios, en tercer lugar, plástico, seguido por aluminio, papel, cartón, vidrio y otros.

Los residuos de alimentos encontrados en los laboratorios corresponden a productos consumidos en los cubículos de los profesores o en salas de reunión que se encuentran en el área de laboratorios. En total los resultados de los residuos generados en las aulas y en los laboratorios, consistiendo en 243 kg y 234 kg respectivamente en las dos temporadas evaluadas.

En mayo, los residuos generados en mayor cantidad fueron los alimentos, en un 7.3% más que en febrero. Esto debido probablemente a la temporada, pues los alumnos permanecen fuera de las aulas por más tiempo, aumentando con esto el consumo de alimentos y consecuentemente los residuos. En cuanto a los residuos de los sanitarios, la temporada invernal generó 9% más residuos que en mayo. Los residuos encontrados son generalmente papel sanitario y toallas de papel secante (sanitas). La causa por la que se genera muchos residuos del sanitario es porque se piensa que puede tapar el drenaje; sin embargo, por higiene es aconsejable tirarlo el papel sanitario en el inodoro.

En el análisis del plástico se agruparon los correspondientes a plástico en general y bolsas de plástico, generando en mayo 12.7% y en febrero 10.7%. Con respecto a las botellas de plástico para agua y refrescos, se generaron 1.3% más en la temporada de calor (mayo) que en la temporada de invierno (febrero). Es de esperarse este resultado, pues con el calor se incrementa el consumo de líquidos.

En cuanto a las latas de aluminio se generaron más en temporada invernal (4.0%) que en verano (1.4%); se

encontraron mayormente latas de jugos en invierno. Los recipientes de poliestireno se generaron en mayor cantidad en febrero (6.0%), principalmente vasos de poliestireno (unicel) con residuos de café o té, tal como sería de esperarse por el consumo de bebidas calientes durante el invierno. En cuanto al vidrio, se encontraron principalmente botellas de jugo (5.7% en mayo; 1.9% en febrero). De acuerdo al estudio en la Universidad de Jaume I en España, no se encontraron diferencias significativas en la composición de residuos con respecto a la época del año de recolección (Gallardo y col., 2016), posiblemente por la ponderación asignada a los diferentes residuos.

Cuadro 2. Residuos generados en la FCQ en febrero y mayo, durante seis días.

Residuos sólidos	Mayo (temperatura alta)			Febrero (temperatura baja)		
	Aulas (kg)	Laboratorio (kg)	TOTAL (%)	Aulas (kg)	Laboratorio (kg)	TOTAL (%)
Alimenticios	34.2	39.6	30.3	28.3	25.6	23.0
Sanitarios	27.0	25.5	21.6	16.0	55.6	30.6
Plástico en general	11.2	13.2	10.0	5.2	15.8	9.0
Bolsas plástico	3.5	2.9	2.7	2.3	1.7	1.7
Botellas de plástico	3.5	1.7	2.2	1.2	0.9	0.9
Recipientes de poliestireno	3.5	1.7	2.2	0.8	13.2	6.0
Latas de aluminio	2.6	0.7	1.4	3.4	6.0	4.0
Bolsas aluminizadas	2.3	0.5	1.2	1.6	1.4	1.3
Cartón	7.1	15.9	9.4	1.1	0.5	0.7
Papel	6.8	1.3	3.4	0.0	8.9	3.8
Vidrio	4.8	9.1	5.7	1.4	2.9	1.9
Otros	15.5	9.0	10.1	0.8	39.4	17.2
TOTAL	122	121.0	100	62.0	172	100

Con lo que respecta al cartón, se generó en mayor cantidad en mayo (9.4%) en los laboratorios, pues llegan al almacén de reactivos químicos o equipo para los laboratorios que están empacados en cajas de cartón. El resto de los residuos generados bolsas aluminizadas y papel no varía entre temporadas. La fracción de otros puede ser muy variable pues se consideran los artículos viejos, descompuestos o inservibles depositados en la basura.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son similares a los reportados en la Universidad Iberoamericana, pero el porcentaje de residuos alimenticios es menor en el caso de la

Universidad Autónoma de Chihuahua (Ruiz-Morales, 2012). Por otro lado, en un estudio del campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California, se presentó una cantidad menor a la reportada en este estudio para material no reciclable (34% en la UABC contra 57% en este estudio), pero la cantidad de material compostable también fue importante (33%) (Armijo y col., 2008).

Los materiales generados con posibilidad de separarse para enviar a reciclar son las botellas de plástico, latas de aluminio, cartón, papel y vidrio. (16.6%). Los residuos de alimentos, 26.6% pueden ser compostables y los materiales no reciclables es de 56.8% del resto de los materiales. En la Figura 1 se representan estos porcentajes.

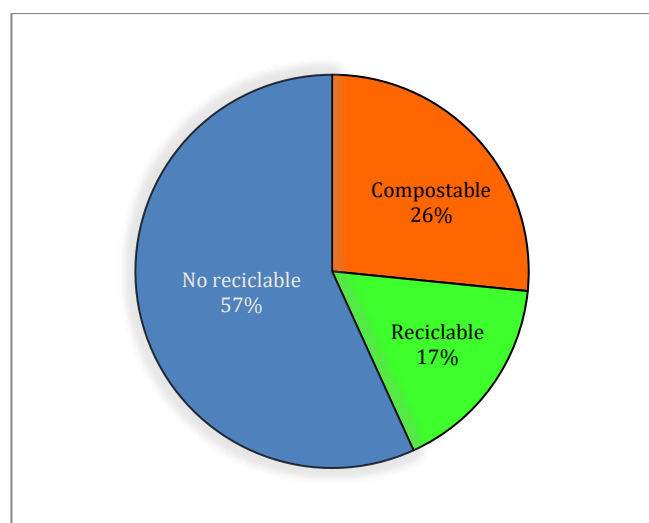


Figura 1. Porcentaje de residuos sólidos generados en la FCQ reciclables, no reciclables y compostables.

Los residuos sólidos analizados se generaron en seis días (una semana) y hay 32 semanas de convivencia universitaria. Esto representa en promedio la generación de 117 kg de botellas de plástico, 203 kg de latas de aluminio, 394 kg de cartón, 273 kg de papel y 291 kg de vidrio por año. Sin embargo, los materiales que no son reciclados se depositan en el relleno sanitario, aumentando con esta acción la contaminación ambiental.

Aunque los residuos de alimentos (2043 kg) pueden compostarse, no se cuenta con infraestructura para llevar a cabo este proceso. Los residuos sanitarios corresponden a 1985 kg, plástico en general 726 kg, bolsas de plástico 166 kg, recipientes de poliestireno 307 kg, envolturas aluminizadas 93 kg y 1035 kg de otros.

Si bien la Facultad de Ciencias Químicas es de tamaño mediano por su población, es necesario realizar estudios similares al presente en otras Facultades, para que los resultados sirvan de base para un programa institucional de

manejo de residuos sólidos. Dentro de las estrategias para la implementación de este plan, se deberán incluir programas de concientización y capacitación para la separación de residuos. La colocación de pequeños botes para separación de residuos en reciclables y no reciclables en salones y espacios administrativos, debe ser una de las primeras estrategias del plan de reducción y reciclado de residuos sólidos (Ruiz-Morales, 2012). En la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, se implementó un programa de separación de residuos, que en tres años reportaron una reducción considerable del material enviado al relleno sanitario (Espinoza y col., 2008).

Los programas de disminución de residuos en Universidades, deben ser programas institucionales, que incluyan un programa de concientización permanente y una evaluación periódica de sus beneficios. Un ejemplo es el programa de manejo de residuos presentado por Fagnani y Guimarães (2017), basado en un modelo de mejora continua, que reportó disminución en residuos reciclables (60% vs 15%) por la implementación del programa. Por otro lado, Moreira y colaboradores (2018) propone la generación de un índice sobre manejo de residuos sólidos en Instituciones de Educación Superior, haciendo una comparación entre universidades Brasileñas y de Estados Unidos.

CONCLUSIONES

La caracterización de los residuos sólidos generados en el área de aulas y laboratorios residuos alimenticios en mayor cantidad, seguido por el plástico, papel-cartón, botes de aluminio, vidrio y otros. El 16.6% puede reciclarse, el 26.6% es susceptible de composteo y el 56.8% son materiales no aprovechables. Con respecto a los materiales existentes en los que colocan los productos de alimentos (principalmente recipientes de poliestireno) son materiales difíciles de reciclar. Buscar nuevas y mejores opciones de tratamiento para estos materiales es urgente o materiales fáciles de reciclar. Lo mismo será para el proceso de compostaje para los residuos de alimentos que se realiza en menor escala y solo con fines académicos o de investigación

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, por las facilidades proporcionadas para la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Adeniran AE, Nubi AT y Adelopo AO. 2017. Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management. *Waste Management* 67:3-10.

- Armijo C, Ojeda S, Ramírez ME. 2008. Solid Waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Manage*, **28**: S21-S26.
- Báreková, A, y Franeková Z. 2015. Composition Analysis of municipal solid waste at a university dormitory. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, **18**: 49-52.
- Espinosa RM, Turpin S, Polanco G, de la Torre A, Delfin I. y Raygoza I. 2008. Integral urban solid waste management program in a Mexican university. *Waste Manage*. **28**. S27-S32.
- Fagnani E. y Guimarães JR. 2017. Waste management plan for higher education institutions in developing countries: The Continuous Improvement Cycle model. *J Clean Prod*. **147**:108-118.
- Gallardo A, Edo-Alcón N, Carlos M. y Renau M. 2016. The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. *Waste Manage*. **53**:3-11.
- Kian-Ghee T, Kruppa S, Ahmad Basri NE y Basri H. 2010. Municipal Solid Waste Composition Study at Universiti Kebangsaan Malaysia Campus. *Aust J Basic and Appl Sci*. **4**(12): 6380-6389
- Ramírez-Lara E, Rivera De la Rosa J, Ramírez Castillo AI, de Jesús Cerino-Córdova F, López Chuken UJ, Fernández Delgadillo SS. y Rivas-García P. 2017. A comprehensive hazardous waste management program in a Chemistry School at a Mexican university. *J Clean Prod*. **142**:1486-1491.
- Malakahmad D, Amirhossein D, Nasir CM, Za'im Zaki M, Kutty SRM y Isa MH. 2010. Solid waste characterization and recycling potential for university technology PETRONAS academic buildings. *Am J Environ Sci*. **6**(5), 422-427.
- Moreira R, Malheiros TF, Alfaro JF, Cetrulo TB. y Ávila LV. 2018. Solid waste management index for Brazilian Higher Education Institutions. *Waste Manage*. **80**: 292-298.
- Ruiz Morales M. 2012. Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, ciudad de México. *Rev Int Contam Amb*. **28**: 93-97
- Salsabili A., Aghajani M., Saheri S. y Noor Ezlin Ahmad Basri. 2010. Comprehensive Characteristics of the Municipal Solid Waste Generated in the Faculty of Engineering, UKM. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. Index 46, Int. J Environ., Chem, Ecolo, Geol, and Geophysic Engin **4**(10), 469 - 472.
- Serna Ramírez A. 2007. El derecho a un ambiente sano y la pedagogía ambiental. *AGO.USB* **7**: 347-361.
- Smyth D., Fredeen A. y Booth A. 2010. Reducing solid waste in higher education: The first step towards “greening” a university campus. *Resour Conserv Recy* **54**: 1007-1016.
- Vera Toledo P., Najera Aguilar H.A., García Lara C.M. y Solís López M. 2016. Manejo de residuos sólidos no peligrosos en una institución de educación superior. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. **12**: 90-103.
- Zen IS, Subramaniam D, Sulaiman H, Saleh AL, Omar W. y Salim MR. 2016. Institutionalize waste minimization governance towards campus sustainability: A case study of Green Office initiatives in Universiti Teknologi Malaysia. *J Clean Prod*. **135**:1407-1422.
- Zhang H, Liu J, Wen ZG. y Chen YX. 2017. College students' municipal solid waste source separation behavior and its influential factors: A case study in Beijing, China. *J Clean Prod*. **164**:444-454.