

ENZIMAS: ALGUNAS APLICACIONES DE “MICROMÁQUINAS” COMO IMPULSORAS DE TECNOLOGÍA VERDE

ENZYMES: SOME APPLICATIONS OF THESE “MICRO-MACHINES” LIKE IMPELLERS
OF GREEN TECHNOLOGY

Martha Lucía Malagón Micán*
Jorge Andrés Rodríguez Ladino**
Luisa Fernanda Rodríguez Prieto***

Recibido: 15 de agosto de 2017

Aceptado: 16 de noviembre de 2017

Resumen

Las enzimas son utilizadas a nivel industrial por su amplia gama de aplicaciones, principalmente en alimentos y productos farmacéuticos; sin embargo, en Colombia no hay una tecnología que esté suficientemente desarrollada debido a factores económicos y falta de investigaciones. Los avances han ido creciendo, desde su uso para degradar colorantes en el agua, hasta su aplicación para decomponer el crudo del petróleo. En este artículo se describen algunos avances en las investigaciones que tienen como fin ayudar a reducir el impacto causado al ambiente, en un contexto en el que el mercado global de las enzimas se incrementa aceleradamente por su utilidad en varios procesos de la industria.

Palabras clave: enzimas, investigaciones, procesos industriales, impacto, optimización.

Abstract

The enzymes are used industrially for their wide range of applications mainly in food and pharmaceuticals; come from animals, plants and microorganisms, however, in Colombia it is not a technology that is developed by economic factors and lack of research. Advances have been growing, from their use to degrade dyes in the water until their application to decompose crude oil. This article describes some advances in research to reduce the impact caused by the environment in a context in the global market for enzymes accelerated by their utility in various industry processes.

Keywords: enzymes, research, industrial processes, impact, optimization.

* Ingeniera química, magíster en Ingeniería Química, magíster en Docencia. Docente investigador, grupo de investigación BIOTECFUA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. martha.malagon@profesores.uamerica.edu.co

** Estudiante coinvestigador, grupo de investigación BIOTECFUA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. George.a_33@hotmail.com

*** Estudiante coinvestigador, grupo de investigación BIOTECFUA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. luisafprieto@outlook.com

INTRODUCCIÓN

Las enzimas son macromoléculas formadas por proteínas que actúan como catalizadores biológicos, es decir, que aceleran o retardan de manera eficaz una reacción sin sufrir ningún cambio; además, construyen organismos vivos y los mantienen, desde unicelulares hasta pluricelulares (son la columna vertebral de la vida). Algunas enzimas fabrican compuestos químicos, mientras que otras los modifican o destruyen. Lo que las hace interesantes y diferentes es su especificidad, esto es, su habilidad para reconocer y aceptar únicamente un componente químico (sustrato) ignorando a los demás (Charnock y McCleary, 2005).

Así, el uso de las enzimas abarca grandes campos en la industria, puesto que los productos pueden ser hechos en menos tiempo, debido a la disminución en la energía de activación de la reacción. Las reacciones pueden llevarse a cabo a bajas temperaturas o presiones, o usando materiales económicos (residuos agroindustriales) como sustrato para bacterias y hongos. Según el sustrato se usa una enzima específica, por ejemplo, las proteasas y lipasas se utilizan para degradación de proteínas y grasas, respectivamente, lo cual hace que se aprovechen en la industria de detergentes.

En la actualidad, el comercio global de enzimas para la industria está creciendo rápidamente. Kumar, Singh, Sangwan y Gill (2014) afirman: “De acuerdo con los reportes de la encuesta de mercado del 2012, el mercado global de enzimas fue valorado en alrededor de 4 mil millones de dólares en 2011” (p.185). En el 2015 el mercado fue de 8180 millones de dólares, y se espera que registre una tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC, en español/CAGR, en inglés) de 7.8% durante 2015-2020. A nivel industrial, las enzimas son utilizadas especialmente en bebidas y alimentos, seguido por la industria de detergentes.

En Colombia, a pesar de las grandes aplicaciones existentes, se importan la mayoría de enzimas, especialmente para la industria farmacéutica y de alimentos; pese a las investigaciones, no hay resultados concretos que muestren por qué esto sucede. Sin embargo, los estudiantes coinvestigadores coinciden en que sólo existe una empresa que produce enzimas, ubicada en Bogotá, y que esto se debe a la falta de tecnología, de apoyo en la investigación y de visión de los profesionales del área (Quintero y Magin, 2014). Estas deficiencias influyen en que varios proyectos investigados se queden sin respuesta.

Sin embargo, hay maneras de continuar el desarrollo de un proyecto financiado por entidades, como el Fondo Emprender del SENA, y así poder contribuir a que la industria sea ecológica. Por ejemplo, a través de investigaciones acerca de la determinación de la actividad enzimática y el uso de la biotecnología aplicada en la degradación de colorantes en la industria textil con ayuda de hongos especializados, y usando residuos agroindustriales como materia prima, los cuales pueden ser utilizados como sustratos para la síntesis de enzimas por diferentes géneros microbianos. Según Verma y Brar (2014), el bagazo de caña de azúcar, el salvado de trigo y arroz, la cáscara de soja, el bagazo de café y el bagazo de mandioca son algunos utilizados para la producción de enzimas hidrolíticas (celulasas, xilanasas) y proteolíticas (proteasas alcalinas), entre otras. El uso de estos residuos tiene beneficios económicos y ambientales: se reduce el costo de producción de enzimas por su bajo valor comercial y se reutilizan residuos para disminuir su carga orgánica, generando así mayor producción enzimática (Levin et ál., 2008); por ejemplo, en Cuba se realizó la biodegradación a diferentes colorantes con el hongo *Trametes maxima* MUCL44155 y con bagazo de caña de azúcar, obteniendo porcentajes de decoloración del 95 % (Sánchez, Guerra, y Ramos, 2011), lo cual muestra que las investigaciones se enfocan en buscar una mayor producción de enzimas para ser aplicadas en diferentes áreas de trabajo.

El presente artículo menciona algunas investigaciones enfocadas al medio ambiente sobre el uso de enzimas, realizadas principalmente en Colombia, brindando información general de contaminación e inversión de las industrias en el ámbito ambiental.

AVANCES E INVESTIGACIONES EN COLOMBIA

Los investigadores colombianos incursionan en las nuevas tecnologías con el fin de lograr el desarrollo de productos innovadores que permitan mejorar las condiciones de vida de la población y contribuir con el ambiente (Monsalve, 2016). Aunque en Colombia no hay datos actualizados acerca de la generación de residuos por parte de las industrias, se han obtenido algunos datos estadísticos generales. Según el informe final presentado por Fedesarrollo (1992), *Contaminación Industrial en Colombia*, en materia de contaminación por descargas orgánicas en recursos hídricos, las agroindustrias generan un 25 %, las industrias licoreras un 19 %, seguido por la producción de cerveza y malta con el 16 %, la fabricación de sustancias químicas industriales con el 13 % y la industria del papel y el cartón con el 12 %; las industrias de la madera, los textiles, las gaseosas, la metalúrgica, la siderúrgica y la automotriz aportan menos del 1 % del total. Es así como estos estudios arrojan que gran parte de los residuos no son controlados adecuadamente. A continuación, se presentan algunas de las investigaciones que tienen la iniciativa de ayudar a mitigar o prevenir los daños al ambiente, mejorando e innovando métodos antiguos y utilizando la biotecnología de una manera más específica con ayuda de las enzimas como principal motor para generar estos cambios (Castellanos, Ramírez y Montañez, 2006).

Primeramente, se han realizado avances con enzimas cuyo objetivo es neutralizar malos olores, además de potencializar la labor de los microorganismos para que realicen la degradación de la materia orgánica de una manera más efectiva y en el menor tiempo posible. Según Quintero y Magin (2014), se ha desarrollado un *cóctel de enzimas* con diferentes componentes (catalizadores derivados biológicamente, sustancias químicas que modifican la superficie, cadenas de proteínas que actúan como plataforma para reacciones y factores estimuladores de oxidación biológica convencional), cuya capacidad radica en acelerar reacciones químicas, físicas y biológicas para la degradación de materia orgánica en las diferentes fases (líquida, sólida y gaseosa); su principal propósito es neutralizar el olor, ya que su función se basa en atrapar moléculas que generan aromas indeseables.

Otro campo de aplicación para las enzimas es el sector petrolero con la implementación de mezclas de microorganismos que al segregarse degradan derrames de hidrocarburo, disminuyendo el impacto ambiental generado (Benavides et ál., 2006). Según Nitschke y Pastore (2002), una alternativa que se busca es utilizar tecnología que contemple el uso de enzimas con nutrientes y biosurfactantes (compuestos que dispersan a los hidrocarburos), debido a que contienen segmentos liposolubles (soluble en aceite) y otros hidrosolubles. Los microorganismos tienen la capacidad de sintetizar estos biosurfactantes, por lo cual pueden degradar fuentes de carbono de baja solubilidad e incorporarlos a sus rutas metabólicas para la generación de energía y síntesis de biomasa; es así como la industria petrolera busca reducir los impactos generados por el derrame de crudo debido a las propiedades de estas moléculas, tales como tolerancia a la temperatura, biodegradabilidad, baja toxicidad, pH y fuerza iónica.

Siguiendo la idea de ayudar al medio ambiente, Cardona, Sánchez, Ramírez y Alzate (2004) afirman que los residuos sólidos de tipo orgánico, como los generados en las plazas de mercado, que constituyen un problema ambiental y económico, pueden ser aprovechados mediante procesos biológicos como la hidrólisis enzimática, para la obtención de diversos productos como el bioetanol, jarabes azucarados, abonos, entre otros. Por ejemplo, la harina gruesa de maíz y las tortas de canola, entre otras, como sustrato en un medio de cultivo pueden tener un efecto en la producción de enzimas fitasas de *Aspergillum ficuum*. Costa, Lerchundi y Villarroel (2009) aclaran que la importancia de esta enzima radica en su uso y aplicación para la industria de alimentos de animales, pues permiten mejorar la disponibilidad de fosfato, para evitar la disminución de nutrientes de origen vegetal, debido a que puede haber un factor antinutricional en los animales, porque en sus tractos gastrointestinales esta enzima es mínima o nula provocando una mala nutrición. En esta

investigación se realizaron dos procedimientos: fermentación en sustrato sólido y fermentación sumergida, logrando en ambos procesos una producción positiva de la enzima fitasa; sin embargo, el objetivo es tener un proceso donde la producción sea a gran escala.

Otros tipos de residuo son los materiales poliméricos, entre los cuales el más utilizado en la industria de calzado y de empaques plásticos es el poliuretano, que está generando grandes cantidades de desechos a nivel mundial, los cuales generalmente terminan en un relleno sanitario o incinerados; pero, según Carrasco (1991), es posible acudir a su biodegradación usando el microorganismo *Aspergillus niger* en un reactor aireado con ayuda de enzimas inducidas (esterasa y uretano hidrolasa del hongo), es decir, que necesitan sustrato en el medio para sintetizarse, y esto se lleva a cabo mediante la adición de poliuretano líquido al medio de crecimiento. La actividad de las enzimas fue determinada por los cambios en la estructura química del polímero. Además, aparecieron regiones amorfas y varias muestras de que hay cambios en la superficie del poliuretano; sin embargo, esta investigación está en desarrollo porque los microorganismos utilizados no son capaces de degradar completamente el polímero debido a ciertos factores como la composición y peso de la molécula o la adaptación del microorganismo al medio.

Finalmente, los avances con enzimas también están enfocados en la optimización de procesos y productos. En la industria del café han sido utilizadas para la preparación de concentrados líquidos de esta semilla, la reducción de la viscosidad y la degradación del mucílago del café despulpado (sustancia gelatinosa adherida a la semilla), buscando disminuir el tiempo de fermentación y aumentar la productividad (Peñuela, Pabón y Oliveros, 2011). El mucílago no tiene un desprendimiento inmediato, así que es necesario usar fricción o esperar en el tanque de fermentación para poder ser retirado por lavado; esto es debido a la pectina presente en él. Para degradar esta sustancia son necesarias ciertas reacciones químicas que la conviertan en estructuras más pequeñas llamadas ácidos orgánicos, todo esto se da naturalmente por enzimas específicas. Peñuela, Pabón y Oliveros (2011) afirman que en Colombia estas enzimas se producen y se añaden en el proceso disminuyendo el tiempo de fermentación, permitiendo mayor control y reduciendo las fermentaciones que deterioran la calidad. Los resultados del estudio con la enzima pectin-liaza fueron validados en fincas ubicadas en los municipios de Villamaría, Chinchiná y Palestina en el departamento de Caldas, y en el Tambo, en Cauca, entre otros, obteniendo una remoción del 97 % de mucílago, luego de una espera de tres horas.

Actualmente en Colombia se están desarrollando varios proyectos asociados a mejorar las condiciones ambientales del país. La empresa Colbiocel es un ejemplo, puesto que junto a la firma española Neol Biosolutions acordaron incentivar la producción de biocombustibles a partir de biomasa con materias primas como el bagazo de caña de azúcar, el maíz, la soja y el girasol; además, la empresa cuenta con una sede de capacitación acerca de este tema (Delgado, 2013). Las empresas colombianas están invirtiendo en el ambiente, como lo muestra una encuesta realizada por el DANE, según la cual, por grupos de divisiones industriales, “los que tuvieron un mayor gasto en protección y conservación del ambiente durante 2015 fueron: alimentos, bebidas y tabaco, 33.4 %; coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear 13.2 %; textiles, confección, calzado y pieles 11.6 %” (DANE, 2017, p. 6).

AVANCES E INVESTIGACIONES EN EL MUNDO

Los herbicidas y plaguicidas son muy utilizados en el área de la agricultura para impedir el crecimiento de las hierbas e insectos perjudiciales en el cultivo. El crecimiento acelerado de la población y la propagación gradual de la resistencia de las plagas a los agentes fitosanitarios estimulan el desarrollo y la comercialización de nuevos plaguicidas, pero su continuo uso hace que sean un gran contaminante para el suelo y el agua. Debido a esta problemática, se estudia la producción de

enzimas ligninolíticas por fermentación de hongos en estado sólido (Camacho, Gerardo, Guillén y Sánchez 2017). Lo que se busca es un método ecológico y viable de biorremediación para aprovechar la capacidad metabólica de transformar contaminantes orgánicos en sustancias menos peligrosas; estos hongos son reconocidos por su capacidad de metabolizar y degradar compuestos orgánicos persistentes (Camacho et ál., 2017). También se ha estudiado el uso de biosensores enzimáticos para la determinación de plaguicidas; estos biosensores se pueden combinar con diversos métodos de registro de señales analíticas para detectar compuestos potencialmente peligrosos para el ambiente y poder ser removidos del plaguicida (Lyaing, Efremenko y Varfolomeev, 2017).

Por otro lado, con el fin de remediar el problema que constituye la cantidad de residuos de plástico que se desechan en el mundo, investigadores japoneses encontraron una bacteria capaz de digerir plástico, por medio de enzimas que degradan el PET hasta etilenglicol y ácido tereftálico (Corral, 2016), esto da paso a nuevas investigaciones orientadas a este mismo propósito.

CONCLUSIONES

Las enzimas tienen diversas aplicaciones industriales (alimentos, detergentes, textiles) en procesos de biorremediación de suelos y aguas contaminadas, debido a su alta selectividad de sustratos y productos, además, disminuyen considerablemente el tiempo de un proceso para la obtención de un producto en específico. Lo que se intenta a nivel mundial es buscar nuevas alternativas que ayuden a que estas enzimas sean de más fácil acceso, ya que hay un aumento considerable de su uso en las industrias debido a que las enzimas presentan una amplia variedad de aplicaciones en todos los campos científicos.

Las industrias colombianas e investigadores han realizado algunos avances y proyectos sobre enzimas orientados a mitigar los problemas ambientales, como desechos orgánicos e inorgánicos que van a cuerpos de agua y a la superficie terrestre. También están invirtiendo en la conservación del ambiente, demostrando que el país es capaz de implementar nuevas tecnologías para aumentar el potencial científico e industrial. Aunque todavía faltan estudios que den soluciones para implementar en la práctica, el objetivo de algunas investigaciones en Colombia es llevar los procesos a gran escala.

REFERENCIAS

- Benavides, J., Quintero, G., Guevara, A., Jaimes, C., Gutiérrez, M., y Miranda, J. (2006). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Novapublicación científica*, 4(5), 82-90.
- Camacho, R., Gerardo, J., Navarro, K., y Sánchez J. (2017). Producción de enzimas ligninolíticas durante la degradación del herbicida paraquat por hongos de la pudrición blanca. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(2), 189-196.
- Cardona, C., Sánchez, J., Ramírez, A., y Alzate, L. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(2), 78-89.
- Carrasco, F. (1991). Residuos plásticos: reciclaje y medio ambiente. *Revista Ingeniería química*, 23, 181-185.
- Castellanos, O., Ramírez, D., y Montañez, V. (2006). Perspectiva en el desarrollo de las enzimas industriales a partir de la inteligencia tecnológica. *Ingeniería e investigación*, 26(2), 52-67.
- Charnock, S., y McCleary, B. (2005). *Enzymes: Industrial and analytical applications*. Wicklow, Irlanda: Ed. Megazyme.

- Corral, M. (10 de marzo de 2016). La bacteria que come plástico. *El Mundo*. Recuperado de <http://www.elmundo.es/ciencia/2016/03/10/56e1c141e2704e7a6a8b4629.html>
- Costa, M., Lerchundi, G., Villarroel, F., Torres, M., y Schabitz, R. (2009). Producción de enzima fitasa de *Aspergillus ficuum* con residuos agroindustriales en fermentación sumergida y sobre sustrato sólido. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1), 73-83.
- DANE. (2015). *Encuesta ambiental industrial. Boletín técnico*. Bogotá, D. C.: DANE.
- Delgado, P. (28 de septiembre de 2013). Neol biosolutions y Colbiocel promoverán nuevos biocombustibles. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/empresas/neol-bio-solutions-y-colbiocel-promoveran-nuevos-biocombustibles-2065431>
- Kumar, V., Singh, D., Sangwan, P., y Gill, P. (2014). Global Scenario of Industrial Enzymes Market. Himachal Pradesh, India.
- Levin, L., Herrmann, C., y Papinutti, V. (2008). Optimization of Lignocellulolytic enzyme production by the White-rot fungus *Trametes trogii* in solid-state fermentation using response surface methodology. *Biochemical & Engineering J.*, 39, 207-214.
- Lyagin, I., Efremenko, E., y Varfolomeev, S. (2017). Enzymatic biosensors for determination of pesticides. *Russian Chemical Reviews*, 86(4), 339-355.
- Monsalve, M. (31 de agosto de 2016). Las industrias que no riñen con la naturaleza. Diario (Ciencia) El Espectador, Bogotá, Colombia.
- Nitschke, M., y Pastore, G. (2002). Biosurfactantes: Propriedades e aplicações. *Química Nova*, 25(5), 772-776.
- Fedesarrollo (1992). *Medio ambiente, contaminación industrial en Colombia*. Bogotá D. C.: Fedesarrollo.
- Peñuela, A., Pabón, J., y Oliveros, C. (2011). *Enzimas: una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucilago del café*. CENICAFÉ. Chinchiná, Colombia: Fondo Nacional del Café.
- Quintero, J., y Magin, L. (2014). Tratamiento de residuos orgánicos y olores en frigoríficos. *Revista ingenieros*, 7, 9-11.
- Sánchez, I. (2011). *Biodegradación de colorantes textiles industriales por las enzimas ligninolíticas de Trametes maxima MUCL44155 obtenidas en medios con bagazo de caña de azúcar*. (tesis doctoral). Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Verma, M., y Brar, K. (2014). Enzymes in Value-addition of Wastes. Québec, Canadá: Centre for Water, Earth and Environment.