

BIOTECNOLOGÍA FUNGAL APLICADA A LA DEGRADACIÓN DE XENOBIÓTICOS: ENZIMAS PEROXIDASAS Y SU POTENCIAL EN BIORREMEDIACIÓN

Jorge Luis Cuamatzi Flores¹, Berenice Nava Galicia¹, Ulises Esquivel Naranjo², Martha Dolores Bibbins Martínez^{1*}

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN, Tlaxcala), Carretera Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla km 1.5, Tlaxcala, México

²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias S/N Juriquilla, Querétaro, México

*marthadbm1104@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los procesos de remediación y remoción de xenobióticos tanto en suelos como en mantos acuíferos suelen ser costosos, tardados y de manera colateral generan compuestos químicos cuya estructura es más tóxica que la de los compuestos originales que se pretende remover. Durante varios años se han realizado investigaciones que buscan nuevas tecnologías para la degradación de tales compuestos de una manera más segura, eficaz y barata. Dentro de estas, ha emergido el uso de microorganismos, y en específico, el de los hongos, los cuales han sido un centro de atención en estas investigaciones, pues además de poseer enzimas que hidrolizan celulosa y hemi-celulosa (estructuras presentes en la materia vegetal), tienen enzimas que degradan la lignina, dentro de estas enzimas se ubican las peroxidadas, las cuales con el uso de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) pueden llevar a cabo reacciones de óxido-reducción que dan como resultados la ruptura de anillos aromáticos, estas últimas estructuras químicas son características en una amplia variedad de xenobióticos, tales como los hidrocarburos aromáticos y colorantes sintéticos, razón por la cual son moléculas susceptibles a la acción enzimática de las peroxidadas fúngicas.

Palabras clave: Biodegradación, hongos, peroxidadas fúngicas

ABSTRACT

The remediation process and xenobiotic removal in soils as in wastewater, these processes are usually expensive, time-consuming and generate more toxic chemical compounds than the starting compounds. For many years, research has been carried out seeking new technologies to degradation of this compounds in a safer and cheaper way. Within these, has emerged the use of microorganisms, in particular, the use of fungi, who have been a focus of these research, because, besides having enzymes that allow them to metabolize cellulose and hemi-cellulose, they have enzymes that carry out the degradation of lignin, within this type of enzymes are the peroxidases which with the use of hydrogen peroxide (H_2O_2) can carry out redox reactions that result in the breakdown of aromatic rings, this structures are also present in a very range of xenobiotics, such as aromatic hydrocarbons and synthetic dyes, for this reason, they are susceptible to the enzymatic action of fungal peroxidases.

Keywords: Biodegradation, basidiomycetes, fungal peroxidases



INTRODUCCIÓN

El uso de organismos y sus metabolitos, representan una alternativa a las técnicas químicas convencionales para los procesos de biorremediación y remoción de compuestos xenobióticos en agua y suelo (Barrasa et al., 2014). En la última década, se han realizado investigaciones enfocadas en peroxidadas fúngicas, que, en comparación con las producidas por bacterias y plantas, estas muestran una mayor capacidad oxidoreductora sobre xenobióticos y compuestos recalcitrantes. La aplicación de estas enzimas en procesos de bioremediación es ya una realidad, por ejemplo, para la decoloración de efluentes textiles, degradación de cloroligninas en la industria del papel, en la remoción de compuestos fenólicos derivados de insecticidas y de hidrocarburos aromáticos generados en la industria del petróleo (Fernández-Fueyo et al., 2014). Por lo anterior, en este artículo se analiza la importancia de los hongos y su potencial aplicación en la transformación o eliminación enzimática de contaminantes ambientales.

LOS HONGOS EN EL MEDIO AMBIENTE

Los hongos son organismos cosmopolitas y tienen la capacidad de desarrollarse en diversas condiciones ambientales (Rodríguez-Rodríguez et al., 2013). Las capacidades metabólicas y fisiológicas que poseen, les permiten colonizar una amplia variedad de hábitats, así como establecer asociaciones biológicas con otros organismos, que resultan cruciales para los ecosistemas (Peraza-Reyes & Malagnac, 2016).

La capacidad de los hongos para sobrevivir en diversos ambientes indica que secretan una gran variedad de enzimas, lo que los hace atractivos para los procesos de biorremediación (Deshmukh, Khardenavis, & Purohit, 2016).

Dentro del reino de los hongos existen varias clasificaciones, una de ellas es la de los hongos de pudrición blanca que son los únicos organismos conocidos, que tienen la capacidad de llevar a cabo la degradación completa de la lignina y esto gracias a su amplia gama de genes codificantes de enzimas oxidoreductasas con un gran potencial para la oxidación y/o degradación de tal polímero (Kirk, 1975; Sánchez, 2009), este potencial les permite actuar sobre diferentes sustratos en cuya estructura se encuentren moléculas aromáticas.

Dentro de los géneros de hongos biotecnológicamente más atractivos se encuentran *Pleurotus ostreatus* (Fig. 1), *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* y *Bjerkandera adusta*, debido a las diferentes lacasas y peroxidadas que producen (Dos Santos et al., 2016). Actualmente *P. ostreatus* (Fig. 1) es un hongo de pudrición blanca muy estudiado dentro del campo de la biorremediación debido a la especificidad de sus enzimas extracelulares para degradar



Figura 1. *Pleurotus ostreatus* creciendo en materia vegetal (Fred Stevens, www.mykoweb.com)

lignina, convirtiéndose esta en su principal fuente de carbono en la naturaleza (Fernández-Fueyo et al., 2014; Martínez et al., 1994).

PEROXIDASAS FÚNGICAS, ENZIMAS CON INCREÍBLES CAPACIDADES

Las peroxidadas son enzimas localizadas en todos los dominios de la vida (Finze et al., 1984). El estudio de ellas ha sido tal que se conocen más de 350 estructuras tridimensionales y más de 5000 secuencias proteicas (Koua et al., 2009; Passardi et al., 2007). Estas enzimas participan en diversos procesos biológicos, tales como, respuestas de defensa, respuesta inmune, patogenicidad, detoxificación y degradación de biomasa (Ayala & Torres, 2010).

En comparación con peroxidadas de plantas y otros organismos, las peroxidadas de hongos de pudrición blanca se caracterizan por su alto potencial de oxidación (Ruiz-Dueñas & Martínez, 2010).

El hongo *P. ostreatus* posee una gran variedad de estas enzimas, entre ellas las más estudiadas son la manganeso peroxidasa, versátil peroxidasa y lacasa, todas clasificadas como óxido-reductasas que tienen un gran potencial en aplicaciones biotecnológicas y ambientales, además de que destacan por arriba de enzimas homologas producidas por microorganismos no ligninolíticos (Cohen, Persky, & Hadar, 2002).

APLICACIONES Y USO POTENCIAL DE PEROXIDASAS EN BIORREMEDIACIÓN DE COLORANTES

Los procesos de degradación por peroxidadas de hongos de pudrición blanca han sido aplicados para la remoción de contaminantes con grupos fenólicos, como lo son los colorantes azoicos, en diversas aplicaciones se ha llegado a la mineralización del xenobiótico generándose dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) lo que significa una degradación completa de la molécula (Spadaro & Gold, 1992).

De igual forma, se ha demostrado que la decoloración de colorantes de tipo antraquinona mediada por peroxidadas, es más eficiente esto en comparación a la observada para los colorantes de tipo azoico (Selvam, 2003).

Mezclas enzimáticas de peroxidadas ligninolíticas producidas por varios hongos de pudrición blanca, han sido aplicados para la degradación total de colorante sulfónicos (Shrivastava, Christian, & Vyas, 2005).

Debido a su baja estabilidad, el empleo de enzimas en medios acuosos es difícil, por tal razón, técnicas de inmovilización han sido consideradas como factibles para la biorremediación de efluentes industriales (Ijoma & Tekere, 2017). De entre las ventajas que representan usar enzimas inmovilizadas, destacan que se prolonga el tiempo en el que estas son activas además de que son más eficientes al momento de degradar (Asgher, Aslam, & Iqbal, 2013).

Todas estas capacidades han perfilado a las peroxidadas para ser empleadas en diversos procesos de biocatalíticos, entre los que destacan los de biorremediación de suelos y aguas. (Fig. 2).

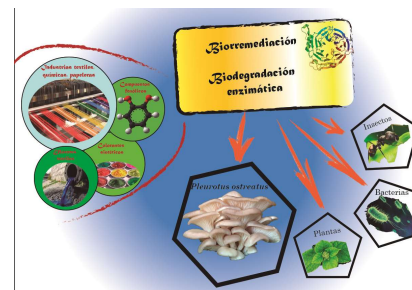


Figura 2. Diversas fuentes de peroxidadas y su aplicación en la biorremediación de efluentes industriales

PERSPECTIVAS

Los hongos son un modelo de estudio muy importante y atractivo en diversas áreas de la biotecnología, una de las ramas en las que más sobresalen es en el ámbito de la biorremediación gracias a las enzimas que producen, en especial, las peroxidadas. El empleo de tales enzimas para la degradación no solo de colorantes sino de otros compuestos xenobióticos, es prometedor y alentador, dado a que los productos que generan no son tóxicos

en comparación a los generados con técnicas con fundamentos fisicoquímicos.

Conocer más a detalle los potenciales y las capacidades de estas enzimas, permitirán implementar técnicas más eficientes de biorremediación.

BIBLIOGRAFÍA

- Asgher, M., Aslam, B., & Iqbal, H. M. N. (2013). Novel catalytic and effluent decolorization functionalities of sol-gel immobilized *Pleurotus ostreatus* [BL-02] manganese peroxidase produced from bio-processing of wheat straw. *Chinese Journal of Catalysis*, 34(9), 1756–1761.
- Ayala, M., & Torres, E. (2010). Introduction. In E. Torres & M. Ayala (Eds.), *Biocatalysis Based on Heme Peroxidases* (pp. 1–4). Springer Berlin Heidelberg.
- Barrasa, J. M., Blanco, M. N., Esteve-Raventós, F., Altés, A., Checa, J., Martínez, A. T., & Ruiz-Dueñas, F. J. (2014). Wood and humus decay strategies by white-rot basidiomycetes correlate with two different dye decolorization and enzyme secretion patterns on agar plates. *Fungal Genetics and Biology*, 72, 106–114.
- Cohen, R., Persky, L., & Hadar, Y. (2002). Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58(5), 582–594.
- Deshmukh, R., Khardenavis, A. A., & Purohit, H. J. (2016). Diverse Metabolic Capacities of Fungi for Bioremediation. *Indian Journal of Microbiology*, 56(3), 247–264.
- Fernández-Fueyo, E., Castanera, R., Ruiz-Dueñas, F. J., López-Lucendo, M. F., Ramírez, L., Pisabarro, A. G., & Martínez, A. T. (2014). Ligninolytic peroxidase gene expression by *Pleurotus ostreatus*: differential regulation in lignocellulose medium and effect of temperature and pH. *Fungal Genetics and Biology*, 72, 150–161.
- Ijoma, G. N., & Tekere, M. (2017). Potential microbial applications of co-cultures involving ligninolytic fungi in the bioremediation of recalcitrant xenobiotic compounds. *International Journal of Environmental Science and Technology*.
- Kirk, T. K. (1975). Preparation and microbial decomposition of synthetic [14C] lignins. *72(7)*, 2515–2519.
- Koua, D., Cerutti, L., Falquet, L., Sigrist, C. J. A., Theiler, G., Hulo, N., & Dunand, C. (2009). PeroxiBase: a database with new tools for peroxidase family classification. *Nucleic Acids Research*, 37(suppl 1), D261–D266.
- Martínez, A. T., Camarero, S., Guillén, F., Gutiérrez, A., Muñoz, C., Varela, E., ... Pelayo, J. (1994). Progress in biopulping of non-woody materials: Chemical, enzymatic and ultrastructural aspects of wheat straw delignification with ligninolytic fungi from the genus *Pleurotus*. *FEMS Microbiology Reviews*, 13(2–3), 265–273.
- Passardi, F., Theiler, G., Zamocky, M., Cosio, C., Rouhier, N., Teixeira, F., ... Dunand, C. (2007). PeroxiBase: The peroxidase database. *Phytochemistry*, 68(12), 1605–
- Peraza-Reyes, L., Malagnac, F. (2016). Sexual development in fungi. In *Growth, Differentiation and Sexuality* (pp. 407–455). Springer International Publishing.
- Rodríguez-Rodríguez, Carlos E., Castro-Gutiérrez, Víctor, Chin-Pampillo, Juan Salvador, Ruiz-Hidalgo, K. (2013). On-farm biopurification systems: role of white rot fungi in depuration of pesticide-containing wastewaters. 345, 1–12.
- Ruiz-Dueñas, F. J., & Martínez, A. T. (2010). Structural and Functional Features of Peroxidases with a Potential as Industrial Biocatalysts. In E. Torres & M. Ayala (Eds.), *Biocatalysis Based on Heme Peroxidases* (pp. 37–59). Springer Berlin Heidelberg.
- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues : Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27(2), 185–194.
- Selvam, K. (2003). Decolorization of azo dyes and a dye industry effluent by a white rot fungus *Thelaphora* sp., 88, 115–119.
- Shrivastava, R., Christian, V., & Vyas, B. R. M. (2005). Enzymatic decolorization of sulfonaphthalein dyes. 36(February 2004), 333–337.
- Spadaro, J. T., & Gold, M. H. (1992). Degradation of Azo Dyes by the Lignin-Degrading Fungus *Phanerochaete chrysosporium*, 58(8), 2397–2401.