

REMOCIÓN DE COLORANTES TEXTILES UTILIZANDO *TRAMETES VERSICOLOR*, *PLEUROTUS OSTREATUS* Y *AGARICUS BISPORUS*

REMOVAL OF TEXTILE DYES USING *TRAMETES VERSICOLOR*, *PLEUROTUS OSTREATUS* AND *AGARICUS BISPORUS*

Maribel Cano^{1*}, Constanza Neri², Ana L. López¹, José H. Castorena¹, Víctor Santiago¹

(1) Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, Departamento de Ingenierías, Km 7.5 Carretera Federal San Martín Tex-Tlaxcala, C.P. 90122, San Diego Xocoyucan, Tlax. - México

(2) Instituto Tecnológico de Apizaco, Departamento de Ingeniería, Av. Instituto Tecnológico S/N, Apizaco, 90300 Apizaco, Tlax. - México

(*e-mail: maribel_cano@hotmail.com)

Recibido: 10/07/2020 - Evaluado: 28/08/2020 - Aceptado: 23/09/2020

RESUMEN

Se estudió la remoción de rojo congo, anaranjado de metilo, verde de bromocresol e índigo carmín por medio de *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, y *Agaricus bisporus*. Los hongos se utilizaron en forma deshidratada y en polvo. Los bioensayos se realizaron en matraces Erlenmeyer de 25 mL a temperatura ambiente y 800 rpm. La concentración de cada uno de los colorantes fue de 200 ppm, y la de los hongos fue de 10 g/L; todas las pruebas se realizaron por duplicado. Se monitoreo el pH, potencial de óxido reducción y el porcentaje de decoloración se realizó por medio de un espectrofotómetro Uv-Vis a la longitud de onda de máxima absorbancia de cada uno de los colorantes. El *P. ostreatus* removió un 72.0 % de rojo congo, el *T. versicolor* degradó en su totalidad al índigo carmín y al anaranjado de metilo.

ABSTRACT

The removal of congo red, methyl orange, bromocresol green and indigo carmine by *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, and *Agaricus bisporus* was studied. The fungi were used in dried and powdered form. Bioassays were performed in 25 mL Erlenmeyer flasks at room temperature and 800 rpm. The concentration of each of the dyes was 200 ppm, and that of the fungi was 10 g/L; all tests were performed in duplicate. The pH, reduction oxide potential and percentage decolorization were monitored using a Uv-Vis spectrophotometer at the wavelength of maximum absorbance of each of the dyes. *P. ostreatus* removed 72.0% of congo red, *T. versicolor* degraded completely to indigo carmine and methyl orange.

Palabras clave: Remoción, hongos de pudrición blanca, colorantes, deshidratación.

Keywords: Removal, white rot fungi, dyes, dehydration.

INTRODUCCIÓN

La industria textil es uno de los giros industriales que ha llegado a consumir hasta 600 millones de metros cúbicos de agua (Vajnhndl & Valh, 2014). China, India Tailandia, Turquía y otros países, son los que consumen la mayor cantidad de agua para este tipo de proceso (Boonyprapa *et al.*, 2009; Güyer *et al.*, 2016). En México, los estados del norte del país, así como Guanajuato, el Estado de México, Querétaro, Hidalgo, Jalisco, Puebla y Tlaxcala son los estados donde se encuentra la mayor cantidad de industrias textiles (García & Solis, 2008). El consumo excesivo de agua por este tipo de empresas, no solo puede causar el agotamiento de agua y sequía en mantos acuíferos; sino que el agua utilizada, es contaminada por los diferentes colorantes sintéticos no agotados en el proceso de teñido, además de la materia orgánica, sales inorgánicas, álcalis, y aditivos que se utilizan en el lavado, y en la preparación de telas (Chen *et al.*, 2017). La mezcla de todos estos compuestos químicos y los cambios en los tipos de proceso, generan fluctuaciones en la demanda química y bioquímica de oxígeno, en el pH, color, salinidad, potencial de óxido reducción, y sólidos totales en el agua residual. La mayoría de los colorantes son sintéticos y persistentes; debido a su estructura química conformada principalmente por anillos aromáticos, grupos azo, antraquinonas ftalocianinas, y halogenuros que les dan una alta estabilidad a la luz y a la temperatura (Croce *et al.*, 2017). Pero también los hacen carcinogénicos, altamente tóxicos y mutagénicos (Zeng *et al.*, 2011). El tratamiento inadecuado ó la falta de éste, ha causado un daño a los ecosistemas acuáticos (Paz *et al.*, 2017). Estudios recientes sobre la toxicidad acuática de diferentes formulaciones y tintes textiles, determinaron nueve formulaciones tóxicas para *Daphnia magna* en concentraciones inferiores a 100 ppm, mientras que 30 tintes fueron tóxicos para las algas (Gmurek & Ledakowicz, 2017); en otros casos, se han llegado a detectar problemas de tipo genotóxico (Sarikaya *et al.*, 2012).

Esta problemática ambiental, ha hecho necesario estudiar diferentes alternativas de solución para la sustitución, remoción y degradación de colorantes; entre los que se destacan la extracción acuosa de colorantes naturales, como *Indigofera tinctoria* (Bektaş *et al.*, 2016), del cual se puede obtener índigo carmín, colorante ampliamente utilizado en el teñido de pantalones a nivel mundial; sin embargo, aún no se cuenta con la tecnología ni con la producción agrícola suficiente, para poder llevar a cabo su implementación (Nazan *et al.*, 2015). Otra alternativa es la remoción de colorantes mediante humedales subsuperficiales (Domínguez-Martínez *et al.*, 2019). Ortiz *et al.* (2016), utilizaron procesos de oxidación avanzada (POA), donde se combinan agentes oxidantes y radiación ultravioleta (O_3/H_2O_2 , O_3/UV y $O_3/UV/H_2O_2$); éstos procesos pueden llegar a mineralizar completamente algunos colorantes como el amarillo, rojo y azul directo (Bilińska *et al.*, 2017); métodos como la fotocatalisis, basada en la generación de radicales libres (oxidrilos) los cuales oxidan a la materia orgánica, también han sido empleados; en este proceso se utilizan semiconductores de ZnO , ZrO_2 , CeO_2 , $Bi(VO_4)_2$ y TiO (Lima *et al.*, 2015) o bien mezclas $MgZnCr-TiO_2$ (Ma *et al.*, 2017). Así como la electrocoagulación también ha sido estudiada Cestarolli *et al.* (2019).

Los hongos de pudrición blanca (HPB) presentan características importantes para la remoción de colorantes (Yesilada *et al.*, 2018), ya que por su fibroicidad y por ser heterótrofos secretan enzimas que actúan como catalizadores biológicos en el proceso de degradación de las moléculas recalcitrantes; además la biomasa de los hongos puede adsorber algunos tipos de colorantes con altas eficiencias (Pecková *et al.*, 2020; Bouras *et al.*, 2017). Las lacasas y peroxidases (manganeso peroxidasa y lignina peroxidasa) no específicas excretadas por los HPB oxidan a la lignina, la cual es una molécula compleja, así como a los compuestos químicos y estructurales de la madera; por lo que son capaces de degradar a algunos colorantes (Kumar *et al.*, 2018; Dávila & Vázquez-Duhal, 2006). Otras enzimas implicadas en este proceso son las del tipo oxidases, como la aril alcohol oxidasa y la glioxal oxidasa, que generan H_2O_2 (Camacho-Morales *et al.*, 2017), las cuales también pueden llegar a degradar colorantes. El tratamiento con hongos ligninolíticos es un método amigable con el medio ambiente, en donde además de remover los contaminantes de la industria textil por adsorción, también los puede llegar a degradar. Los colorantes rojo congo, índigo carmín, anaranjado de metilo, y verde de bromocresol son colorantes de uso industrial y de laboratorio. En la Figura 1, se muestran las estructuras químicas de cada uno de ellos. El objetivo de este trabajo fue remover los colorantes: Rojo congo, índigo carmín, anaranjado de metilo, y verde de bromocresol por medio de la adsorción y oxidación en biomasa deshidratada de *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus* y *Agaricus bisporus*; con la finalidad de que éstos, puedan ser implementados a nivel planta piloto; lo que contribuirá al uso de materiales de bajo costo que además de adsorber puedan oxidar los colorantes.

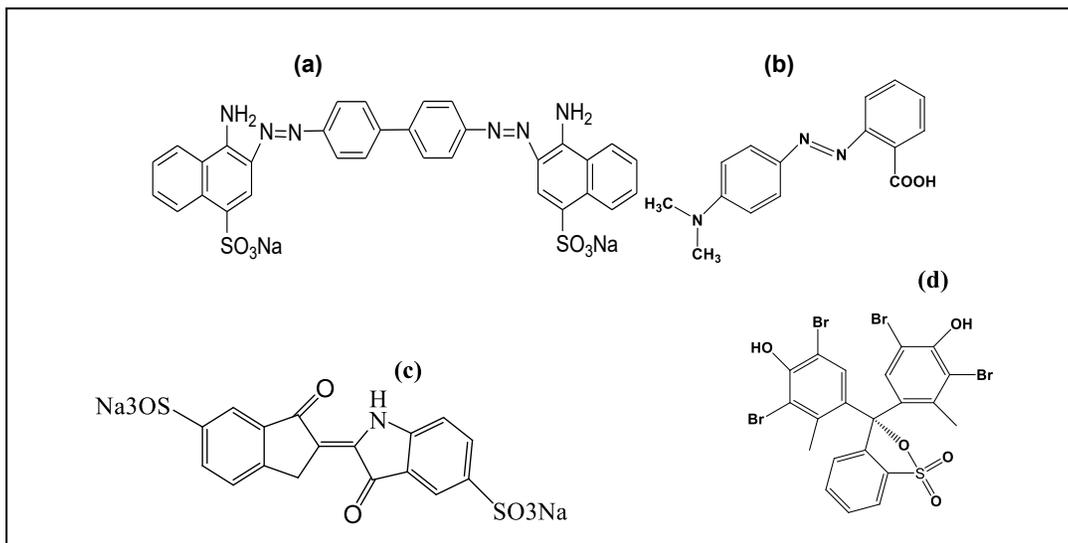


Fig. 1: Estructura química de: a) rojo Congo; b) anaranjado de metilo, c) índigo carmín y d) verde de bromocresol

METODOLOGÍA

El rojo Congo fue de la marca Química Meyer (CAS 573580), los colorantes índigo carmín y anaranjado de metilo fueron de la marca Aldrich con números CAS 860220 y 493-52-7 respectivamente, y el verde de bromocresol fue de la marca Hycel; el PDA, extracto de malta y levadura fueron de la marca Bioxón al igual que la glucosa. El hongo *Trametes versicolor* (ATCC 8273), fue propagado en placa Petri, utilizando un medio de cultivo con agar dextrosa papa, extracto de malta, glucosa y extracto de levadura. El cultivo de *T. versicolor* se realizó en medio líquido en matraces de 250 mL, en forma estática utilizando extracto de paja en una concentración de 100 g/L, incubado a una temperatura de 30 °C y con un pH de 5, por un periodo de 15 días; de acuerdo a la metodología reportada por Sainos *et al.* (2006). Las biopelículas formadas de *T.versicolor* estuvieron a -70 °C por 24 horas en un ultracongelador marca Thermo Cientific, posteriormente se pasaron a un liofilizador marca Labconco donde la liofilización se realizó a -40 °C y a presión de vacío durante 12 h. En el caso del *A. bisporus* y *P. ostreatus* fueron adquiridos en el mercado de Tlaxcala obtenidos de invernaderos del Estado de Tlaxcala. Se seleccionaron y lavaron con agua estéril, se empleó el cuerpo fructífero cortado en rodajas de máximo 50 mm de espesor, deshidratadas en una estufa marca Shel-lab a 40 °C. Los bioensayos se realizaron en matraces Erlenmeyer de 25 mL a temperatura ambiente y a una velocidad de agitación de 100 rpm en una parrilla con control de temperatura y velocidad, marca Thermo Scientific; posteriormente se centrifugaron las muestras a 800 rpm en una centrifuga Hermle Z323. La concentración de cada uno de los colorantes fue de 200 ppm, y la de los hongos fue de 10 g/L; todas las pruebas se realizaron por duplicado. Se monitoreo el pH, potencial de óxido reducción y la decoloración en cada uno de los bioensayos. El pH y el Potencial de Óxido Reducción (ORP) se determinaron con un medidor de pH/ORP, el porcentaje de coloración se determinó por medio de un espectrofotómetro Uv-Vis a la longitud de onda de máxima absorbancia de cada uno de los colorantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2, se muestran los espectros de absorción de los colorantes estudiados: rojo congo (RC) anaranjado de metilo (AM), índigo carmín (IC) y verde de bromocresol (VB). El RC presentó dos bandas de absorción a 340 y a 500 nm; la banda espectral a 340 nm corresponde a los grupos azo, mientras que la banda de 500 nm se asignó a los grupos conjugados insaturados de los anillos aromáticos (Figura 1). El pico a 500 nm presentó la mayor magnitud en absorción dentro del rango visible, por lo que se tomó como referencia para los cálculos de decoloración.

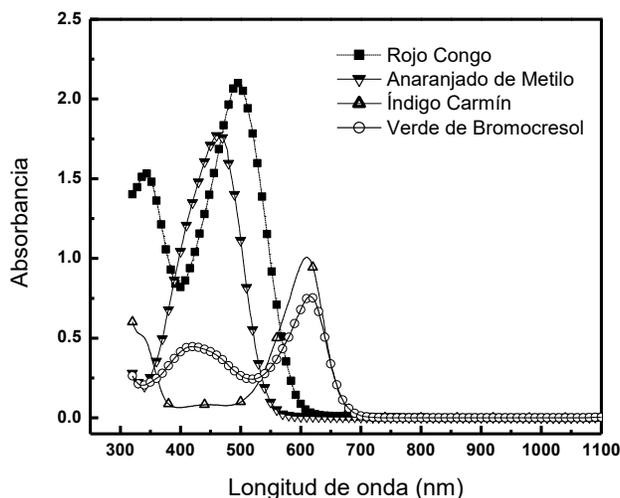


Fig. 2: Espectros UV-Vis de los colorantes: rojo congo, anaranjado de metilo, índigo carmín y verde de bromocresol

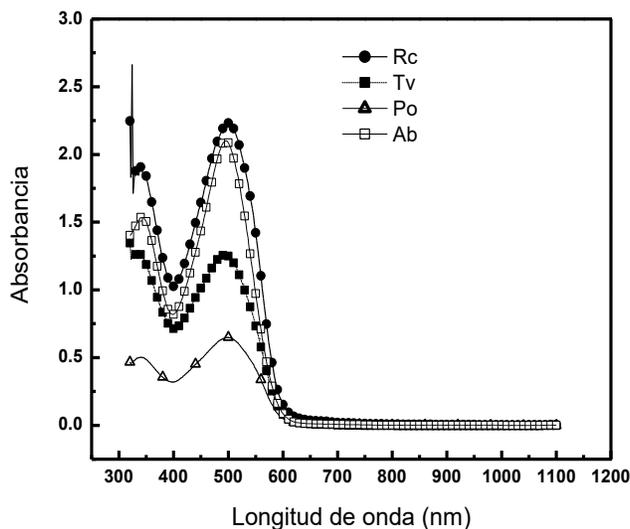


Fig. 3: Tratamiento de RC en una concentración de 200 ppm con *T. versicolor*, *P. ostreatus* y *A. bisporus*

El anaranjado de metilo tiene en su estructura química dos grupos cromóforos: NN-dimetilanilina que podría absorber a 251 nm, y no presenta color por estar en la región ultravioleta, y los dobles enlaces conjugados de los anillos aromáticos junto con el grupo azo; caracterizados por el pico a 467 nm. El color del IC es producido por el sistema cromóforo formado por el simple y doble enlace conjugado (Vautier *et al.*, 2001) y está representado por la banda a 610 nm. El VB presentó un sólo pico de máxima absorción a 616 nm debido posiblemente a los polienos conjugados de los anillos aromáticos, esta longitud de onda concuerda con la reportada por Fassi *et al.* (2012). En la Figura 3, se muestra el tratamiento del RC con *T. versicolor*, *P. ostreatus*, y *A. bisporus*; los porcentajes de remoción que se obtuvieron para cada colorante fueron 58.0, 72.0 y 8.12 % respectivamente. El porcentaje de Remoción de RC a partir de *P. ostreatus*, fue superior a lo reportado por Sosa-Martínez *et al.* (2020), quienes utilizaron extractos enzimáticos crudos producidos por *Phanerochaete*

cryosporium obteniendo un 41.84 % de remoción a partir de una concentración inicial del RC 50 ppm y 200 g/L de extracto enzimático liofilizado. Mientras que en el presente trabajo, la concentración inicial fue de 200 ppm de RC y 10 g/L de hongo deshidratado, una concentración 20 veces menor; lo que representa una mayor eficiencia y capacidad de remoción. Hernández-Sáenz *et al.* (2020), emplearon pellets de biomasa de *P. ostreatus*, y *T. versicolor* producidos con caldo de extracto de salvado de trigo; logrando un índice de decoloración de RC de 10, para una concentración inicial de 10 ppm de RC. Sin embargo, una desventaja de la utilización las enzimas producidas durante el crecimiento de hongos, es el control y mantenimiento de los mismos. En la Tabla 1, se muestra un comparativo de las capacidades de adsorción para diferentes adsorbentes, y se observó que con biomasa deshidrata de *T.versicolor* a pH 2 se tiene una mejor remoción; no obstante, bajo esas condiciones de acidez, puede existir desactivación enzimática y en el caso de una aplicación industrial la operación con un pH ácido, implica la utilización de biorreactores vidriados o de acero inoxidable; además del uso de ácidos, y de tratamientos posteriores para la neutralización de efluentes.

Tabla 1: Comparación de la capacidad de adsorción de rojo congo por algunos bioadsorbentes

Bioadsorbente	Qm (mg/g)	Referencia
Biomasa deshidrata de <i>T.versicolor</i>	415.7 a pH 2	Munagapati <i>et al.</i> (2020)
<i>A. bisporus</i> pretratado	76.41 pH 5	Ahmed & Ebrahim (2020).
<i>Streptomyces fradiae</i>	46.64	Velkova <i>et al.</i> (2018)
<i>P. ostreatus</i> deshidratado	14.4	Este trabajo
Polvo de cáscara de platano	164.6	Munagapati <i>et al.</i> (2018)
Corteza de <i>pinus pinaster</i>	0.47	Litefti <i>et al.</i> (2019)
Silica-gel amino funcionalizada	4.0 a (25 °C)	de Farias <i>et al.</i> (2018)

Donde: $Q_m = (C_o - C_{eq})/m \times V$; Q_m capacidad de adsorción, C_o y C_{eq} concentración inicial y de equilibrio (mg/L), m cantidad de masa utilizada (g), V volumen de la solución (L).

En el caso del verde de bromocresol no se lograron observar cambios apreciables en la decoloración utilizando los tres hongos; mientras que con el índigo carmín y anaranjado de metilo la remoción fue del 100 % con el *T. versicolor* (Figura 4). Un porcentaje mayor a lo reportado por Dogan *et al.* (2018) quienes obtuvieron hasta un 90 % de remoción de IC, utilizando una cepa aislada de *P. ostreatus* a pH de 2. El porcentaje también fue superior a lo obtenido por Jasińska *et al.* (2018), quienes alcanzaron un 95 % por medio de oxidasas de *Myrothecium roridum*. La eficiencia obtenida en este trabajo, es comparable a los procesos de: Oxidación avanzada (Ortiz *et al.*, 2016), de electrooxidación (Palma-Goyes *et al.*, 2019), y de electrocoagulación (Rojas-Mena *et al.*, 2019); procesos en los que se requiere una mayor infraestructura, por la calidad de los electrodos que se utilizan. Por otro lado, los resultados con AM estuvieron arriba de lo referido por Yucel (2018), quien obtuvo un 70 % de decoloración utilizando pellets de *Fusarium acuminatum* en una concentración inicial de 60 ppm y también fue mayor a los resultados de Kieffer *et al.* (2020), alcanzando un 98 % de remoción empleando un reactor ultrasónico por lotes y con una concentración inicial de 3.45 ppm, de AM. El *A. bisporus* fue el hongo que tuvo menor capacidad para degradar los tres colorantes, obteniéndose un máximo de remoción del 10 % para el anaranjado de metilo.

El RC mostró un potencial de óxido reducción positivo, los valores iniciales de ORP del *T. versicolor*, *P. ostreatus* y *A. bisporus* con el RC fueron 121.8, 137.0 y 132 mV, estos valores se incrementaron con el avance de la reacción, en cada una de las mezclas de reacción. El pH también se incrementó en una unidad de pH (7.5 a 8.5), lo que sugiere la formación de un producto oxidante entre el RC y el extracto acuoso de cada hongo, por lo que se asume una decoloración del RC por oxidación de tipo enzimático. El ORP del RC y del AM fueron positivos, y también se incrementaron con el tiempo; mientras que el ORP del IC y del VB fueron negativos (Figura 5); los valores negativos del IC y del VB indicaron un potencial reductor de estos colorantes. Como se pudo observar hubo una mayor diferencia en el ORP del AM que en del RC (Figura 5), lo que se vio reflejado en el mayor porcentaje de decoloración del AM que del RC. El ORP del IC tuvo un cambio de -65 a 10 mV en ORP, esto sugiere un cambio en su estado de oxidación y concuerda con la desaparición de la banda espectral a 610 nm, como anteriormente

se mostró en la Figura 4. Mientras que el VB mantuvo un ORP alto (-150 mV) y en consecuencia no se logró su decoloración. El incremento en el ORP del RC, AM e IC, puede atribuirse al potencial de oxidación del extracto acuoso del hongo; debido a que el potencial redox de las lacasas de los hongos tiene relación directa con la energía requerida para remover un electrón de un sustrato reducido (Arregui *et al.*, 2019; Shleev *et al.*, 2004). Sin embargo, el potencial no fue suficientemente para cambiar el estado de oxidación del VB.

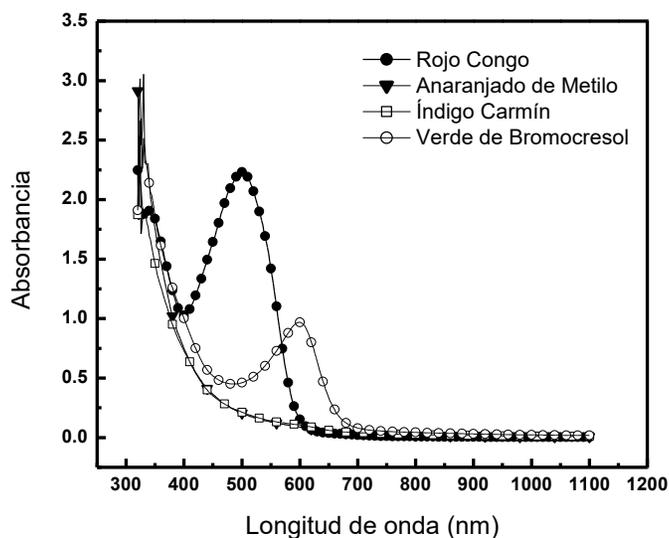


Fig. 4: Tratamiento de RC, AM, IC y VB en una concentración de 200 ppm con *T. versicolor*

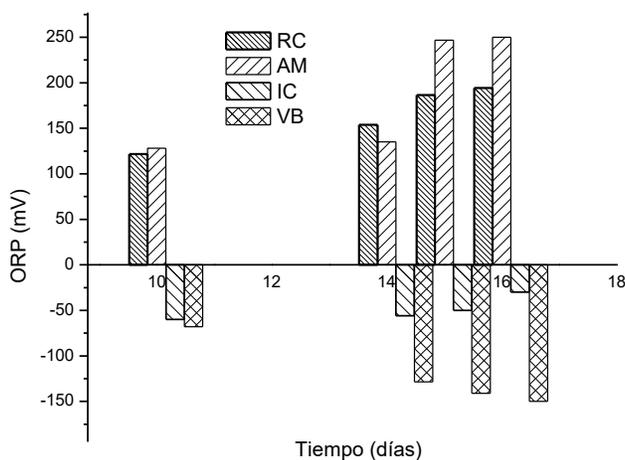


Fig. 5: Variación del potencial de óxido reducción de los colorantes RC, AM, IC en contacto con *T. versicolor*

La diferencia en la capacidad de remoción de cada uno de los colorantes estudiados también puede atribuirse a la estructura química de los colorantes; el RC es una molécula diazónica con una estructura química de mayor complejidad que la del AM, por lo que su porcentaje de remoción fue menor respecto al AM; mientras que el IC tiene la estructura química más sencilla de las cuatro moléculas estudiadas; al no contener grupos azo ni halogenuros, facilita su decoloración. El verde de bromocresol aunque no presenta grupos azo, contiene

bromuros de arilo que incrementa la recalcitrancia de la molécula. Por otro lado, las enzimas ligninolíticas también son determinantes en los procesos de remoción de colorantes. El *T. versicolor* produce tres enzimas ligninolíticas: Lignina peroxidasa (LiP), Manganese peroxidasa (MnP) y Lacasa (Lac) (Martínez-Salgado *et al.*, 2005). *Pleurotus ostreatus* sintetiza lacasa, manganese peroxidasa y alcohol veratril oxidasa pero no lignino peroxidasa (Palmieri *et al.*, 2005), y *A. bisporus*, celulasa, xilanasas y lacasas (Arce-Cervantes *et al.*, 2016). El *A. bisporus* fue el hongo que tuvo la menor capacidad de decoloración, a pesar de observarse un incremento en su ORP, esto podría deberse a que no sintetizan LiP o MnP, enzimas que degradan moléculas complejas, como anteriormente se mencionó.

CONCLUSIONES

El *P. ostreatus* removió un 72.0 % de Rojo congo, el *T. versicolor* degradó en su totalidad al índigo carmín y al anaranjado de metilo; mientras que el *A. bisporus* fue el hongo que tuvo menor capacidad para degradar los tres tipos de colorantes; obteniéndose un máximo de remoción del 10 % para el anaranjado de metilo. Los porcentajes de remoción alcanzados por el *P. ostreatus* y *T. versicolor* fueron superiores a algunos bioadsorbentes e incluso equiparables a métodos de fotodegradación o por procesos de oxidación avanzada. Sin embargo, aun cuando la remoción de colorantes por hongos deshidratados puede representar una alternativa viable por su bajo costo, así como por su eficiencia, capacidad de adsorción y de oxidación; una limitante es la estabilidad de la biomasa fúngica, frente al efecto de descomposición natural. Aunque con ello, se puede impedir la formación de residuos tóxicos, por la degradación de los colorantes como de la propia biomasa. Por lo cual, es necesario continuar con futuras investigaciones para incrementar la capacidad de remoción, degradación y estabilidad de la biomasa fúngica, bajo condiciones de operación a nivel industrial.

REFERENCIAS

- Ahmed, H.A.B. & Ebrahim, S.E. (2020). Removal of Methylene Blue and Congo Red Dyes by Pre- treated Fungus Biomass -Equilibrium and Kinetic Studies. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 66 (2), 84-100.
- Arce-Cervantes, O., Saucedo-García, M., Leal Lara., H, Ramírez-Carrillo R., Cruz-Sosa, F., & Loera, O. (2016). Alternative supplements for *Agaricus bisporus* production and the response on lignocellulolytic enzymes. *Scientia Horticulturae*, 192, 375-380. Bajado septiembre 1, 2020. desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815300546>.
- Arregui, L., Ayala, M., Gómez-Gil, X., Gutiérrez-Soto, G., Hernández-Luna, C.E., Herrera de los Santos, M. et al. (2019). Laccases: structure, function, and potential application in water bioremediation. *Microbial Cell Factories*, 18, artículo 200, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12934-019-1248-0>
- Bektaş, D., Karaman, Ş., Diraz, E. & Çelik, M. (2016). The role of natural indigo dye in alleviation of genotoxicity of sodium dithionite as a reducing agent. *Cytotechnol*, 68 (6), 2245–2255.
- Bilińska, L., Gmureka, M. & Ledakowicz, S. (2017). Textile wastewater treatment by AOPs for brine reuse. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, artículo PSEO 1049, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017301362?via%3Dihub>
- Boonyprapa, P., Vampetch, W., Sangsirimongkolying, R. & Yoosook, W. (2009). Waste Water Treatment of Dye Contamination. *Environmental Asia*, 2 (1), 49-53.
- Bouras, H.D., Yeddou, A.R., Bouras, N., Hellel, D. & Nadjemi, B. (2017). Biosorption of Congo red dye by *Aspergillus carbonarius* M333 and *Penicillium glabrum* Pg1: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies.

Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 80, bajado septiembre 2, 2020, desde, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107017304054>

Camacho-Morales, R.L., Gerardo-Gerardo, J.L., Navarro, K.G. & Sánchez J.E. (2017). Producción de enzimas ligninolíticas durante la degradación del herbicida paraquat por hongos de la pudrición blanca. *Rev. Argent. Microbiol.*, 49 (2), 189-196.

Cestarolli, D.T., das Graças de Oliveira, A. & Guerra, E.M. (2019). Removal of Eriochrome Black textile dye from aqueous solution by combined electrocoagulation–electroflotation methodology. *Applied Water Science*, 9, artículo 101, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13201-019-0985-x.pdf>

Chen, L., Wang, L., Wu, X. & Ding, X. (2017). A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 143, artículo JCLP 8581 Bajado septiembre 1, 2020, desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616320546>

Croce, R., Cinà, F., Lombardo, A., Crispeyn, G., Cappelli, C. I., Vian, M. et al. (2017). Aquatic toxicity of several textile dye formulations: Acute and chronic assays with *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, artículo PMID: 28601520, bajado septiembre 1, 2020, desde <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2860152>

Davila, G. & Vázquez-Duhalt, R. (2006). Enzimas Ligninolíticas para fines ambientales. *Mensaje Bioquímico*, 30, 29-55

de Farias, R.S., de Brito, H.L., da Cruz, M.B., Freitas, L.M., de Aquino, T. & Rodrigues de Paulo, V. (2018). Adsorption of congo red dye from aqueous solution onto amino-functionalized silica gel. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23 (6), 1053-1060.

Dogan, D., Boran, F., Kahraman, S., Akmil-Basar, C. & Yesilada, O. (2018). Dye removal by dead biomass of newly isolated *Pleurotus ostreatus* strain. *Indian Journal of Biotechnology*, 17, 290-301.

Domínguez-Martínez, L., Pérez-Villar, M.M., Zorrilla-Velazco, C.M., González-Roche, M. & Pedrozo-Anoceto, F. (2019). Evaluación de la remoción de colorantes mediante humedales subsuperficiales. *Revista Cubana de Química [versión electrónica]* 31 (1), 108-119.

Fassi, S., Bousnoubra, I., Sehili, T. & Djebbar, K. (2012). Degradation of Bromocresol Green" by direct UV photolysis, Acetone/UV and advanced oxidation processes (AOP's) in homogeneous solution (H2O2 /UV, S2O8-/UV). Comparative study. *J. Mater. Environ. Sci.*, 3 (4), 732-743.

García, B.E. & Solís, J.A. (2008). ¿Contaminando con sus Jeans? *La Ciencia y el Hombre*, 21 (1), 1-8.

Gmurek, M. & Ledakowicz, S. (2017). Textile wastewater treatment by AOPs for brine reuse. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, artículo 1049. Bajado septiembre 2, 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017301362?via%3Dihub>

Güyer, G.T., Nadeem, K. & Dizge, N. (2016). Recycling of pad-batch washing textile wastewater through advanced oxidation processes and its reusability assessment for Turkish textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 139, artículo 7801, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616311349>

Hernández-Sáenz, D., Puentes-Morales, C.S., Mateus-Maldonado, J.F., Pedroza-Camacho, L.D., Ramírez-Rodríguez, J., Rivera-Hoyos, C.M., *et al.* (2020). Evaluación del consorcio entre *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolor* y bacterias aeróbicas para remoción de colorantes sintéticos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22 (1), 45–59.

Jasińska, A., Góralczyk, A., Soboń, A. & Długoński, J. (2018). Novel laccase-like multicopper oxidases from the *Myrothecium roridum* fungus-production enhancement, identification and application in the dye removal process. *Acta Biochimica Polonica*, 65 (2), 287–295.

Kieffer, L.A., De La Sierra P.M., Claret, M., Martín, C. & Leiz, E. (2020). Decoloración Sonoquímica Sinérgica del Anaranjado de Metilo Utilizando Triclorometano en dos Reactores Ultrasónicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36 (1), 7-20.

Kumar, R., Dhiman, N., Negi, S., Prasher, I.B. & Prakash, C. (2018). *Role of Fungi in Dye Removal*. In: Kumar V., Kumar M., Prasad R. (eds) *Phytobiont and Ecosystem Restitution*. Springer, Singapore Pte Ltd.

Lima, C.S., Batista, K.A., García Rodríguez, A., Souza, J.R. & Fernandes, K.F. (2015). Photodecomposition and color removal of a real sample of textile wastewater using heterogeneous photocatalysis with polypyrrole. *Solar Energy*, 114, bajado septiembre 2, 2020 desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X15000523>

Litefti, K., Freire, M.S., Stitou, M. & González-Álvarez, J. (2019). Adsorption of an anionic dye (Congo red) from aqueous solutions by pine bark. *Scientific Reports. artículo 16530*. Bajado septiembre 1, 2020, desde <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6848209>

Ma, C., Wang, F. & Zeng, G. (2017). Photocatalytic decomposition of Congo red under visible light irradiation using MgZnCr-TiO₂ layered double hydroxide. *Chemosphere*, 168, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653516314473>

Martínez-Salgado, M., Pedrosa-Rodríguez, A., Rodríguez-Vázquez, R. & Rosas-Acosta, J. (2005). Efecto de la glucosa y nitrato de amonio sobre las enzimas ligninolíticas producidas por *Trametes versicolor* inmovilizado en espuma y la decoloración de un efluente papelerero en un biorreactor de lecho fluidizado. *Universitas Scientiarum*, 10 (2), 27-36.

Munagapati, V.S., Wen, H.-Y., Wen, J.-C., Gutha, Y., Tian, Z., Reddy, G.M. *et al.* (2020). Anionic congo red dye removal from aqueous medium using Turkey tail (*Trametes versicolor*) fungal biomass: adsorption kinetics, isotherms, thermodynamics, reusability, and characterization. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1-14. doi:10.1080/01932691.2020.1789468

Munagapati, V.S., Yarramuthi, V., Kim, Y., Lee, K.M., & Kim, D.S. (2018). Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as an adsorbent. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317307509>

Nazan, C., Lale, E. & Sengul, K. (2015). Extraction of indigo from some *Isatis* species and dyeing standardization using low-technology methods. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 58 (1), 96-102.

Ortiz, E., Gómez-Chávez, V., Cortés-Romero, C.M., Solís, H., Ruiz-Ramos R. & Loera-Serna, L. (2016). Degradation of Indigo Carmine Using Advanced Oxidation Processes: Synergy Effects and Toxicological Study. *J. Environ. Prot.*, 7(12), 1693-1706.

- Palma-Goyes, R.E., Silva-Agredo, J., Vazquez-Arenas, J., Romero-Ibarra, I., & Torres-Palma, R.A. (2018). The effect of different operational parameters on the electrooxidation of indigo carmine on Ti/IrO₂-SnO₂-Sb₂O₃. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6 (2), 3010–3017.
- Palmieri, G., Cennamo, G. & Sannia, G. (2005). Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system. *Enz. Microbiol. Technol.*, 36 (1), 17–27.
- Paz, A., Carballo, J., Pérez, M.J. & Domínguez, J.M. (2017). Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. *Chemosphere*, 181, PMID: 28437742, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28437742>.
- Pecková, V., Legerská, B., Chmelová, D. & Ondrejovič, M. (2020). Comparison of efficiency for monoazo dye removal by different species of white-rot fungi. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Bajado el 9 de julio 2020 de <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02806-w>
- Rojas-Mena, A., Santiago-Santiago, C., Macedo-Miranda, G., González-Juárez, J., Martínez-Gallegos, S., Díaz-Sagal, S. *et al.* (2019). Tratamiento por Electrocoagulación para la remoción de índigo carmín presente en agua. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 76 (585), 37-44.
- Sainos, E., Díaz, G., Montiel-González, A.M, Loera, O. & Sánchez, C. (2006). Growth of *Pleurotus ostreatus* on wheat straw and wheat-grain-based media: biochemical aspects and preparation of mushroom inoculum. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72 (4), 812-815.
- Sarikaya, R., Selvi, M. & Erkoç, F. (2012). Evaluation of potential genotoxicity of five food dyes using the somatic mutation and recombination test. *Chemosphere*, 88 (8), 974–979.
- Shleev, S.V., Morozova, O.V., Nikitina, O.V., Gorshina, E.S, Rusinova, T.V, Serezhenkov, V.A. *et al.* (2004). Comparison of physico-chemical characteristics of four laccases from different basidiomycetes. *Biochimie*, 86 (9-10), 693–710.
- Sosa-Martínez, J.D., Balagurusamy, N., Montañez, J., Peralta, R.A., Peralta, R. de F., Bracht, A. *et al.* (2020). Synthetic dyes biodegradation by fungal ligninolytic enzymes: Process optimization, metabolites evaluation and toxicity assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 400, artículo 123254, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420312437>
- Vajnhndl, S. & Valh, J. (2014). The status of water reuse in European textile sector. *Journal of Environmental Management*, 141, artículo PMID 24768832, bajado septiembre 2, 2020, desde <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24768832>
- Vautier, M., Guillard, C. & Herrmann, J. (2001). Photocatalytic degradation of dyes in water: case study of indigo and of indigo carmine. *Journal of Catalysis*, 201 (1), 46–59
- Velkova, Z.Y., Kirova, G.K., Stoytcheva, M.S., & Gochev, V.K. (2018). Biosorption of Congo Red and Methylene Blue by pretreated waste *Streptomyces fradiae* biomass—Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 83 (1), 107-120.
- Yesilada, O., Birhanli, E. & Geckil, H. (2018). *Bioremediation and Decolorization of Textile Dyes by White Rot Fungi and Laccase Enzymes*. In: Prasad R. (eds) *Mycoremediation and Environmental Sustainability*. Fungal Biology. Springer, Cham. (pp 121-153)

Yucel, T.T. (2018). Investigation of Some Parameters Affecting Methyl Orange Removal by *Fusarium acuminatum*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 14, Bajado septiembre 1, 2020, desde https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132018000100419.

Zeng, Q.F., Fu, J., Zhou, Y., Shi, Y.T. & Zhu, H.L. (2011). Degradation of Reactive Brilliant Red X-3B by zero-valent iron/activated carbon system in the presence of microwave irradiation. *Soil Air, Water*, 64 (12), 2345-2351.

