



Biodegradation of azo dyes by *Pleurotus ostreatus*

Biodegradación de colorantes azo por *Pleurotus ostreatus*

Carolina Martínez-Berra², Rubén Díaz¹, Lilia Sánchez-Minutti³, Gerardo Díaz-Godínez^{1*}

¹Laboratorio de Biotecnología, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, CP. 90120, México.

²Maestría en Biotecnología y Manejo de Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, CP. 90120, México.

³Universidad Politécnica de Tlaxcala. San Pedro Xalcatzinco, Tepeyanco, Tlaxcala, CP. 90180, México.

*Corresponding author.

E-mail address: diazgdo@hotmail.com (G. Díaz-Godínez).

Article history:

Received: 15 November 2017 / Received in revised form: 28 December 2017 / Accepted: 30 December 2017 / Published online: 1 January 2018.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.1.43>

ABSTRACT

The presence of azo dyes in wastewater from textile industries represents one of the main sources of pollution in the environment. Physicochemical methods for the elimination of these compounds have been used, however, there is no method that guarantees the total elimination of the dyes and the pollution problem continues. It has been propose the use of *Pleurotus ostreatus* as a biological alternative for the degradation of azo dyes.

Keywords: Biodegradation, azo dye, *Pleurotus ostreatus*.

RESUMEN

La presencia de colorantes azo en aguas residuales provenientes de industrias textiles representa una de las principales fuentes de contaminación en el medio ambiente. Se han empleado métodos fisicoquímicos para la eliminación de estos compuestos, sin embargo, en la actualidad no existe un método que garantice la eliminación total de los colorantes y

el problema de contaminación continua presente. Estudios realizados proponen el uso de *Pleurotus ostreatus* como una alternativa biológica para la degradación de colorantes azo.

Palabras clave: Biodegradación, colorante azo, *Pleurotus ostreatus*.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales de la industria textil están altamente contaminadas con sustancias tales como colorantes, sales, metales, surfactantes, desinfectantes, insecticidas, grasas, solventes, entre otras (Dos-Santos *et al.*, 2006). La presencia de colorantes textiles en estas aguas residuales representa un serio problema ambiental, además, este tipo de compuestos no pueden ser eliminados totalmente por métodos convencionales de tratamiento (Cortázar-Martínez *et al.*, 2012). Dado que las industrias textiles realizan una deficiente o nula eliminación de colorantes de sus aguas residuales, el medio ambiente se ve seriamente afectado cuando estos efluentes son liberados a los cauces de los ríos o a los mantos acuíferos. Para tratar de eliminar estos compuestos de las aguas residuales se requiere de diversos mecanismos fisicoquímicos que son costosos y poco eficientes. Dado lo anterior, existe un gran interés por buscar alternativas que contribuyan a eliminar el problema, donde los métodos biológicos representan una alternativa de bajo costo y amigable con el medio ambiente (Piña-Mondragón, 2007).

A partir de la década de los 80's se ha estudiado la eliminación de colorantes textiles de las aguas residuales a través de tratamientos biológicos, observando que el uso de diversas especies de hongos han tenido éxito en la decoloración y/o degradación de estos compuestos. Los hongos de pudrición blanca o ligninolíticos han mostrado la capacidad de degradar sustancias xenobióticas que se encuentran como contaminantes ambientales, incluyendo a los colorantes tipo azo, gracias a su sistema enzimático ligninolítico conformado principalmente por lacasas y peroxidasas (Sathiskurmar *et al.*, 2010). Estas enzimas también tienen potencial uso en la industria del sector químico, alimentario, agrícola, papelería, textil, cosmético, etc., por lo que estos hongos se consideran una herramienta útil dentro de la biorremediación (Mansillas *et al.*, 2015).

2. COLORANTES TIPO AZO

Un colorante es un compuesto orgánico que al aplicarlo en un sustrato (cuero, papel, plástico o alimento) le confiere un color permanente (Sanz-Tejedor, 2009). Las moléculas de los colorantes están constituidas por tres grupos funcionales, el grupo crómoforo que es responsable de la adsorción de la luz dando la propiedad del color, el grupo auxócromo que da la afinidad por la fibra e intensifica el color y por último el grupo solubilizador que brinda afinidad a diversos solventes y está dado por la presencia de iones como $-\text{SO}_3\text{Na}^+$,

$-\text{NH}_3\text{Cl}^-$, $-\text{SO}_2\text{NH}_2^+$, $-\text{ONa}^+$ (Gupta & Suhas, 2009; Anastasi *et al.*, 2009; Ruiz-Balaguera, 2011).

Los colorantes usados en la industria textil son de diversos tipos y pueden ser clasificados dependiendo de su estructura química, clase de aplicación o uso final. Cabe mencionar que estos compuestos por sus características químicas son considerados recalcitrantes y tienen efectos tóxicos para el ambiente (Moeller *et al.*, 2015). Los colorantes son clasificados entre otras formas en naturales y artificiales; los primeros son aquellos que son extraídos de fuentes vegetales, animales o minerales, mientras que los colorantes artificiales son sintetizados y/o aislados en un laboratorio. La forma de clasificar a los colorantes artificiales se basa en su estructura molecular y a la aplicación que se le da (Tabla 1). Los colorantes sintéticos que poseen al grupo cromóforo “azo” son los más empleados en la industria textil (Gómez-Bertel *et al.*, 2008), estos están caracterizados por su grupo funcional que está representado por el enlace $-\text{N}=\text{N}-$. En esta clase destacan tres familias: monoazo, diazo y triazo; cada una de ellas presentan diferentes propiedades. En la figura 1 se muestran las estructuras químicas de los colorantes azo más utilizados en la industria.

Tabla 1. Características y aplicaciones de los colorantes azo.

Colorante	Características	Grupo funcional	Aplicación	% de fijación	Referencia
Ácidos	Compuesto orgánico aniónico y poseen grupos sulfúricos.	Antraquinona, trihalometona azo.	Coloración de fibra de lana, seda, nylon, acrílicos.	80-93	Piña-Mondragón, 2007; Ruiz-Balaguera, 2011.
Básicos	Colorantes catiónicos con carga positiva en la porción cromófora de la molécula.	Trifenilmetano, azo.	Tinción de telas de fibras animales de forma directa, poliéster y nylon.	97-98	Moeller <i>et al.</i> , 2015; Yesilada <i>et al.</i> , 2003.
Directos	Solubles en agua, posee más de un grupo azo y su interacción.	Poliazo, fitalocianinas y oxazinas.	Algodón, rayón, cuero y en cierta medida en nylon.	70-95	Guaratini & Zanoni, 2000; Ruiz-Balaguera, 2011.
Dispersos	Compuestos orgánicos no iónicos. Se aplican con un dispersante, porque son insolubles en agua, y se caracterizan fundamentalmente porque tienen un alto grado de dispersión.	Antraquinona, grupo benzodifuranona.	Poliéster, en cierta medida nylon, celulosa, acetato de celulosa y fibras de acrílico.	80-92	Moeller <i>et al.</i> , 2015; Vishnu <i>et al.</i> , 2007.
Sulfurosos	Insolubles en agua pero solubles en medio alcalino y en presencia de sulfuro sódico como agente reductor. Son colorantes muy	No poseen una estructura determinada.	Algodón, rayón, tienen un uso limitado con fibras de poliamida, seda, cuero, papel y madera.	60-70	Piña-Mondragón, 2007; Moeller <i>et al.</i> , 2015.

	económicos pero sus matices son muy pobres.			
Reactivos	Solubles en agua, estos colorantes interaccionan por medio de enlaces covalentes, poseen grupos electrofílicos.	Azo antraquinona, triarilmetano.	Se utiliza en materiales celulósicos, algodón y en ocasiones en lana y nylon.	60-90
				Guaratini & Zanoni, 2000, Ruiz-Balaguera, 2011; Moeller <i>et al.</i> , 2015.

Dentro del grupo de colorantes azo, existe una subdivisión de acuerdo a su uso en la industria textil; cabe mencionar que el colorante monoazo disperso es el de mayor consumo para teñir fibras e hilos de poliéster, acetato, nylon y acrílico (Chudgar, 2000). A continuación se menciona a cada uno de estos.

2.1 Colorantes ácidos

Este término se le da a los colorantes capaces de tener interacciones de carga con el sustrato como la fibra de lana o seda. Los colorantes ácidos son compuestos orgánicos aniónicos que requieren sitios catiónicos para fijarse a la fibra. La ionización del colorante se logra al aplicar un ácido orgánico, puede ser ácido acético o sulfúrico, a un pH entre 2-6. El colorante que sobresale por su producción es el colorante diazo rojo ácido 151 (Moeller *et al.*, 2015).

2.2 Colorantes básicos

Son colorantes catiónicos que llevan una carga positiva en la porción cromófora de la molécula, aunque también la carga puede estar deslocalizada o distribuida a través de la porción catiónica del colorante. El catión es formado por protonación bajo condiciones ácidas. En condiciones alcalinas o neutras estos colorantes se comportan como colorantes dispersos (Cruz, 2001). Este tipo de colorantes se utilizan a menudo para teñir fibras de poliéster y nylon modificado debido a que producen alta intensidad de color y mayor brillantez en la fibra que otros colorantes. Se aplican en solución acuosa con suficiente ácido acético para mantener el pH entre 4 y 6, tienen gran capacidad de teñido ya que sólo 1 mg/L de colorante produce una fuerte coloración al agua, además de que tiene la

capacidad de ser adsorbido en muchos minerales y en la materia orgánica presente en el agua (Piña-Mondragón, 2007).

2.3 Colorantes reactivos

Son colorantes aniónicos con varios grupos sulfónicos, que lo hacen ser muy solubles en agua (Piña-Mondragón, 2007). Los colorantes reactivos consisten básicamente de tres componentes: un colorante o grupo cromóforo, un grupo de unión y un grupo reactivo. Durante el teñido, el colorante se hidroliza lo que causa baja fijación de la fibra, además de incrementar su solubilidad. Este tipo de colorante se caracteriza por tener en su estructura uno o más grupos reactivos complejos que pueden ser sensibles a la hidrólisis. El principal uso de estos colorantes es para teñir fibras naturales como algodón, lana y sintéticas como la poliamida (nylon) (Amjad & Qayyum, 2007).

2.4 Colorantes dispersos

Son colorantes aniónicos insolubles en agua por lo que se emplean en forma de dispersiones acuosas para teñir fibras sintéticas hidrófobas. Se utilizan en la tinción de poliéster, nylon, diacetato y triacetato de celulosa así como fibras acrílicas (Chhaya *et al.*, 1997).

2.5 Colorantes mordentes

La principal característica es que el colorante no se fija por sí mismo a la fibra sino que necesitan de un metal, generalmente es cromo, para formar lacas. El proceso se llama “mordentado” el cual consiste en tratar en un medio ácido (pH 2-6) el colorante junto con sales metálicas tales como cromato de sodio para formar el complejo metálico en el sitio de teñido. La mayoría de los colorantes tienen estructuras con una sola ligadura azo. Son estables, no se desmetalizan fácilmente y no son afectados al tratarlos con soluciones alcalinas o con ácidos débiles (Chudgar, 2000).

2.6 Colorantes azo directos

Son colorantes aniónicos que se aplican en solución acuosa en presencia de un electrolito para hacer el teñido de la fibra, su estructura es compleja ya que contiene usualmente más de dos ligaduras azo; su principal uso es para teñir fibras de algodón, celulosa y viscosa entre otras. La ventaja principal de éstos es que son muy estables a la luz y se absorben fácilmente en las impurezas del agua (Piña-Mondragón, 2007; Moeller *et al.*, 2015).

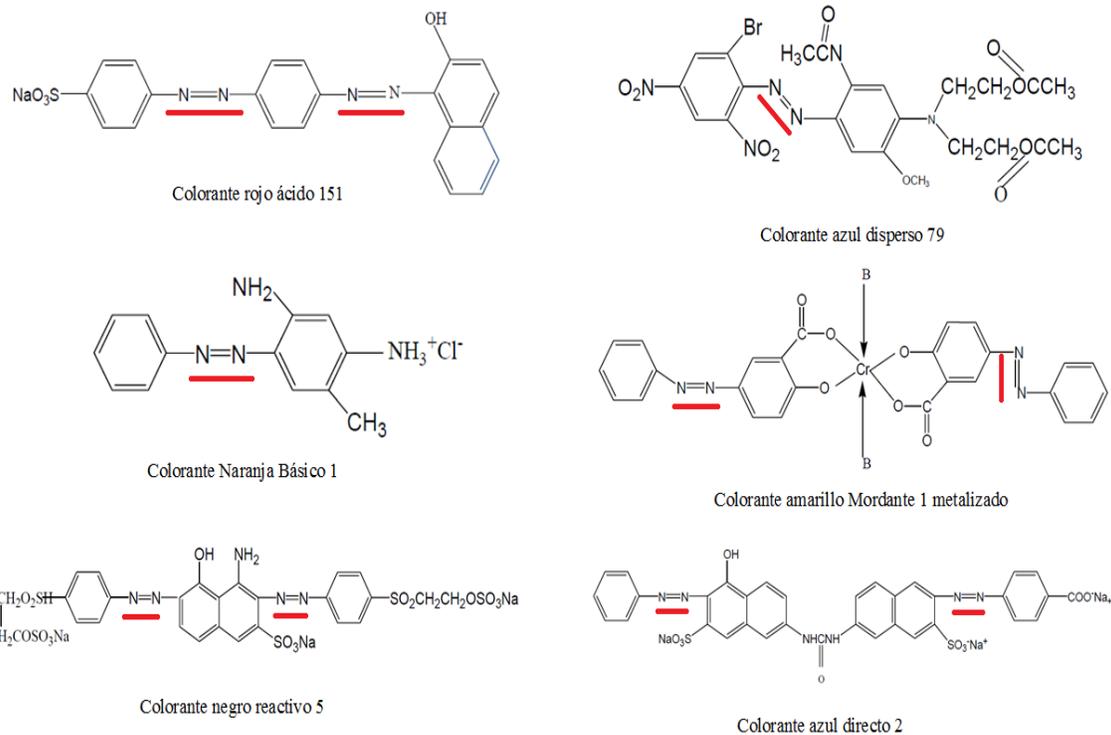


Fig. 1. Estructuras químicas de colorantes azo más utilizados en la industria textil. Se señala el grupo cromóforo con una línea de color rojo (Modificado Moeller *et al.*, 2015 y de Ranganathan *et al.*, 2007).

3. CONTAMINACIÓN POR COLORANTES TIPO AZO

La presencia de colorantes tipo azo en el medio ambiente es un problema de contaminación que ha prevalecido desde hace ya unas décadas. Los mantos acuíferos se ven afectados por esta problemática, ya que las industrias textiles desembocan con o sin consentimiento los efluentes, provocando la muerte de muchas especies que entran en contacto con dichos compuestos (Anjaneyulu *et al.*, 2005; Días *et al.*, 2007). La industria textil utiliza grandes volúmenes de agua en su proceso, por lo cual, se generan grandes cantidades de agua residual con una alta carga de contaminantes, principalmente colorantes. En el proceso de teñido y estampado de telas se genera la mayor fuente de contaminación. Dependiendo del tipo de colorante, se estima que del 2 al 50% de estos compuestos se desechan en las aguas residuales y se consideran como contaminantes persistentes que no pueden removerse con los métodos convencionales de tratamiento de aguas, debido a su origen y las estructuras complejas que presentan (Kuhad *et al.*, 2004; Días *et al.*, 2007; Dos Santos *et al.*, 2007; Mendoza-Hernández *et al.*, 2010). La concentración de colorantes en el agua residual de las empresas textiles puede variar de 100 a 500 mg/L (Sponza & Işık, 2004). Los colorantes más utilizados son los de tipo azo, cuya característica principal es el enlace insaturado de dos moléculas de nitrógeno (-N=N-), que son poco biodegradables, pero se ha demostrado

que se pueden establecer las condiciones para que sean degradados y en ciertos casos mineralizados (Field *et al.*, 2000; Cervantes *et al.*, 2001; Cervantes *et al.*, 2003; González & Escamilla, 2008). Cabe mencionar que los efluentes de la industria textil se caracterizan por presentar fluctuaciones extremas en parámetros, tales como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH, color y salinidad. Algunos de los parámetros característicos de estos efluentes son color visible (1100-4500 unidades), DQO (800-1600 mg/L), pH alcalino (9-11) y sólidos totales (6000-7000 mg/L) (Manu & Chaudhari, 2002; Kuhad *et al.*, 2004; Dos Santos *et al.*, 2007; Ranganatha *et al.*, 2007). La descarga de los colorantes azo al ambiente representa un serio problema por las implicaciones que tiene tanto para la salud pública como para los ecosistemas. Los colorantes azo y sus productos de degradación (aminas aromáticas) pueden generar alergias, mutaciones o cáncer. Además, la descarga de estos contaminantes a los mantos acuíferos impide el desarrollo de las plantas debido a que la coloración que producen inhibe la fotosíntesis. Aunado a lo anterior, muchos colorantes han sido reportados como tóxicos para la vida acuática (Dos Santos *et al.*, 2006). Considerando todo lo anterior, es evidente que este sector industrial requiere de sistemas de tratamiento de aguas eficientes que permitan reutilizar sus efluentes a través de circuitos cerrados. Los sistemas biológicos han emergido como una alternativa viable para el tratamiento de efluentes del sector textil (Cervantes, 2008).

4. BIODEGRADACIÓN DE COLORANTES AZO

La degradación de colorantes azo por medio de sistemas biológicos ofrece ventajas significativas, entre ellas se considera que existe menor probabilidad de generar productos tóxicos como resultado de los procesos metabólicos, pero es difícil encontrar algún microorganismo que presente la capacidad de degradar colorantes (Mendoza-Hernández *et al.*, 2010). Prachi & Anushree (2008), reportaron que existen métodos biológicos económicos, con menores requerimientos energéticos y además que resultan ser eficientes en la remoción de un amplia gama de colorantes textiles; analizaron el efecto de diversos parámetros de proceso como pH, temperatura, concentración de colorantes entre otros, buscando una biotransformación completa de los contaminantes tóxicos a productos estables en el medio ambiente (Ruiz-Balaguera, 2011). Entre estos métodos biológicos, destacan los tratamientos con hongos de podredumbre blanca, que tienen gran potencial para degradar contaminantes ambientales y colorantes azo presentes en efluentes de industrias textiles (Prachi & Anushree, 2008; Faroco *et al.*, 2009; Salame *et al.*, 2010; Sathiskurmar *et al.*, 2010; Ruiz-Balaguera, 2011). Estos hongos resultan de gran interés para el sector textil, ya que pueden decolorar por biotransformación o bioadsorción (Balan & Monteiro, 2001; Banat *et al.*, 2006; Anastasi *et al.*, 2010; Ruiz-Balaguera, 2011). A continuación se describen los dos principales métodos de degradación de colorantes por tratamiento biológico.

4.1 Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase para ser concentrada en la superficie de otra, siendo un fenómeno superficial (Foust *et al.*, 2001). La adsorción es uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, se emplea para la retención de contaminantes de naturaleza orgánica tales como compuestos fenólicos, derivados clorados y colorantes que infieren color, olor y sabor a las aguas (Prachi & Anushree, 2008). La adsorción se da mediante fuerzas físicas de Van der Waals, enlaces covalentes o al intercambio iónico que se da entre la sustancia adsorbida y el adsorbente (Anto, 2006; Ruiz-Balaguera, 2011). La adsorción realizada por la biomasa fúngica es independiente del metabolismo, esta se lleva a cabo por medio de los grupos funcionales presentes en la pared fúngica tales como el amino, carboxilo, tiol y fosfatos, presentes en la quitina, glucanos y grupos amino (Ruiz-Balaguera, 2011). Para la evaluación de la capacidad de adsorción de la biomasa fúngica se deben realizar estudios con la finalidad de establecer las condiciones favorables dentro del proceso, ya que autores reportan que ciertas modificaciones a nivel de la pared fúngica potencializa la capacidad de adsorción de los hongos (Pearce *et al.* 2003; Prachi & Anushree, 2008).

4.2 Transformación enzimática

La transformación enzimática es un proceso dependiente del metabolismo del microorganismo e implica la transformación del colorante mediante la acción de las enzimas extracelulares dejando el compuesto parcialmente transformado. Para favorecer la acción de este proceso se requieren ciertas condiciones para que el bioproceso sea exitoso tales como condiciones nutricionales, pH, temperatura, aireación, etc. (Zhao *et al.*, 2007; Ruiz-Balaguera, 2011). Este proceso está mediado principalmente por las enzimas lacasas y peroxidadas (Fig. 2).

Las enzimas lacasas (EC. 1.10.3.2) están asociadas con la decoloración de aguas residuales (Ruiz-Balaguera, 2011). Son enzimas extracelulares que contiene cobre en su sitio catalítico y que son capaces de oxidar polifenoles y compuestos no fenólicos en presencia de un mediador redox. Se ha reportado que la actividad de lacasas aumenta al cultivar el microorganismo en sustratos que contengan fenoles, cobre, compuestos de bajo peso molecular y macromoléculas que contengan grupos fenólicos provenientes de lignina o ligninocelulosa (Harald, 2007; Ruiz-Balaguera, 2011). Ha *et al.* (2001) evaluaron el efecto de la morfología de la biomasa de los hongos ligninolíticos en la degradación de colorantes, reportando que aquellos que presentan la biomasa en forma de “pellet”, facilita la transferencia de oxígeno al micelio, la asimilación de nutrientes y al mismo tiempo se ve favorecida la producción de enzimas ligninolíticas.

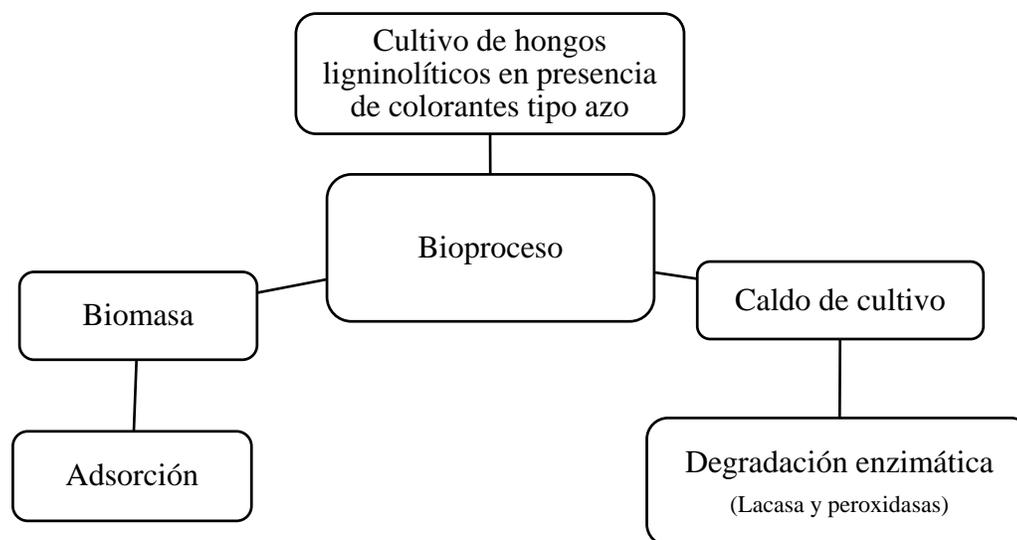


Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de biodegradación de colorantes utilizando hongos ligninolíticos.

5. Degradación de colorantes azo por el hongo *Pleurotus ostreatus*

Cepas de *Pleurotus ostreatus* han sido utilizadas para la degradación de contaminantes ambientales incluso aquellos que son de estructura compleja (Moeller *et al.*, 2015). En los últimos años se han realizado diferentes estudios para la decoloración y/o degradación de colorantes azo presentes en efluentes textiles utilizando diferentes hongos de pudrición blanca, incluyendo a *P. ostreatus*, mostrando resultados prometedores para la disminución de la contaminación en el medio ambiente (Piña-Mondragón, 2007). Estudios recientes han mostrado que las enzimas secretadas por *P. ostreatus* son capaces de degradar colorantes azo como el azul brillante remazol R y el azul de bromofenol (Nitheranont *et al.*, 2011; Grandes-Blanco *et al.*, 2013).

Téllez-Téllez *et al.* (2008) evaluaron la producción de biomasa y enzimas lacasas de *P. ostreatus* crecido en fermentación sólida usando espuma de poliuretano como soporte inerte y fermentación líquida, usando en ambos casos el mismo medio de cultivo sintético. El hongo produjo mayor actividad de lacasas en la fermentación líquida. Moeller & Garzón (2006), realizaron una comparación de decoloración de azul de bromofenol utilizando 3 diferentes tipos de hongos basidiomicetos entre ellos a *P. ostreatus*. Los resultados indicaron que *P. ostreatus* presentó un 94 % de decoloración. Gomes (2006), realizó un estudio donde demostró que los complejos enzimáticos sintetizados por *P. ostreatus* presentan un potencial de aplicación en la degradación de residuos xenobióticos. En su estudio, la decoloración del azul brillante remazol R fue monitoreada por

espectrofotometría a 592 nm, encontrando que a concentraciones de 1 mM H₂O₂ y pH 4 fueron las mejores condiciones para la decoloración del azul brillante remazol R.

Faroco *et al.* (2009) reportaron la biorremediación de aguas residuales con presencia de colorantes azo utilizando a *P. ostreatus*, el cual fue capaz de decolorar de un 40% a un 60% los colorantes ácidos presentes en las aguas residuales. Garzón-Jiménez (2009) evaluó la remoción de colorantes textiles de diversas clases químicas (azul ácido diazo arilamino, verde básico trifenil metano y azul disperso antraquinoides empleando tres tratamientos biológicos: uno bacteriano y dos fúngicos, uno de ellos con *P. ostreatus*). Los microorganismos se inmovilizaron en fibra de *Agave tequilero* Webber var. azul; las cinéticas de degradación se realizaron en medios minerales sin ninguna fuente de carbono para determinar el sistema de remoción de mayor eficiencia. *P. ostreatus* presentó porcentajes de remoción superior al 60% durante los primeros dos días.

Texteira *et al.* (2010) realizaron una decoloración que se llevó a cabo *in vitro* en un medio sólido y en fermentación líquida con cepas de diferentes hongos, resultando que *P. ostreatus* fue la cepa con mayor capacidad decolorante. Se estudiaron los extractos extracelulares de *P. ostreatus* en la fermentación líquida, así como aquellos provenientes de la fermentación sólida utilizando trigo y avena como sustratos. Reportaron que las lacasas producidas por *P. ostreatus* son eficientes para remover los colorantes azul Drimaren X-3LR y azul Drimaren X-BLN en un 96.99 y 68.02%, respectivamente. Papinutti & Forchiassin (2010) lograron la decoloración de residuos sólidos utilizando la producción enzimática de *P. ostreatus*, encontraron que las enzimas manganeso peroxidasa y lacasa fueron capaces de decolorar en un 100% al azure B (colorante heterocíclico) y carmín índigo (colorante índigo).

Kurmar *et al.* (2011) realizaron una serie de experimentos para evaluar la capacidad de decoloración de colorantes azo utilizando 10 especies de hongos, a los cuales se les evaluó su actividad de lacasas por el método de placa indicadora. Cinco especies fueron lacasa-positivas. La actividad varió durante el crecimiento y la actividad máxima de la enzima se observó durante el noveno día. *P. ostreatus* mostró la actividad más alta de lacasa, con un valor promedio de alrededor de 570 U/L; además, la lacasa extracelular de *P. ostreatus* pudo decolorar los colorantes reactivos, lo que sugiere la posible aplicación de esta lacasa en el tratamiento de efluentes textiles. Grandes-Blanco *et al.* (2013) evaluaron la remoción de 2,6-dimetoxifenol (DMP) y azul brillante remazol R mediante la acción enzimática de *P. ostreatus* desarrollado en fermentación líquida. Observaron que al agregar DMP al medio de cultivo con colorante se vió disminuida la decoloración alcanzando un 88% a las 168 h en comparación de un 96% de decoloración a las 384 h en ausencia de DMP. Cabezas-Terán (2014) realizó un estudio con la finalidad de obtener un extracto enzimático con actividad de lacasa por fermentación líquida del hongo *P. ostreatus*, en un medio con bagazo de maíz a escala de laboratorio para la decoloración de colorantes textiles. El

proceso de decoloración se siguió durante 8 h por espectrofotometría, se midieron las velocidades iniciales para las diferentes concentraciones de colorante y se ajustó a la cinética de Michaelis-Menten. Como resultado se obtuvo que el extracto enzimático con actividad de lacasa obtuvo mayor afinidad por el colorante everdirect azul 4 BL, reportando una máxima de decoloración del 53% en 8 h.

Kravetz *et al.* (2016) evaluaron la capacidad de una matriz biológica conformada por micelio de *P. ostreatus* con la finalidad de decolorar efluentes textiles, el experimento se realizó sobre un sustrato de avena e incubado en la oscuridad durante 25 días a 25°C. Con base a esta experimentación se demostró que el tiempo necesario para la decoloración varía entre las 24 y 72 h dependiendo de la intensidad del color presente en el efluente. Además se reportó que la mejor relación sustrato colonizado por *P. ostreatus* (matriz/efluente) fue de 5% masa/volumen y se comprobó que dicha matriz puede reutilizarse, aunque la capacidad de decolorar se ve disminuida. Los resultados indicaron que este sistema podría ser utilizado para la decoloración de efluentes de industrias textiles, disminuyendo así su impacto sobre los ecosistemas naturales. Kunjadala *et al.* (2016) compararon tres especies de *Pleurotus* (*P. ostreatus*, *P. sapidus*, *P. florida*) para la producción de enzimas ligninolíticas crecido con coralene golden yellow, coralene azul marino y coralene rojo oscuro, los cuales son colorantes azo y todos en medio líquido bajo condiciones de agitación. Se reportó que *P. ostreatus*, *P. sapidus* y *P. florida* a una concentración de colorante de 20 ppm muestra un 88, 92 y 98% de decoloración, respectivamente, para los tres colorantes. La producción de enzimas lacasa, magnesio peroxidasa y lignino peroxidasa se estudiaron durante el crecimiento de los microorganismos durante 10 días, se reportó que la enzima lacasa es la principal enzima ligninolítica extracelular producida por las tres especies de hongos. Kunjadala *et al.* (2016) reportaron que diferentes factores (concentración de colorante, pH, proteína y cantidad de fuente de carbono) influyen en la capacidad de las especies de *Pleurotus* para la degradación de colorantes, además de que cuya degradación se atribuye a la acción enzimática del microorganismo, la cual se ve influida por el tiempo de incubación y especie del hongo.

6. CONCLUSIONES

Estudios realizados en los últimos años permiten sustentar el uso de *Pleurotus ostreatus* como una alternativa viable para la degradación y/o decoloración de colorantes azo presentes en aguas residuales provenientes de industrias textiles, contribuyendo de esta manera a la solución de la contaminación ambiental.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Amjad A.K. & Qayyum H. 2007. Decolorization and removal of textile and non-textile dyes from polluted wastewater and dyeing effluent by using potato (*Solanum tuberosum*) soluble and immobilized polyphenol oxidase. *Bioresource Technology*. 98: 1012-1019.

Anastasi A., Prigione V. & Varese G.C. 2009. Industrial dye degradation and detoxification by basidiomycetes belonging to different eco-physiological groups. *Journal of Hazardous Materials*. 2: 8-9.

Anastasi A., Spina F., Progione V., Tigini V., Giansanti P. & Varese G.C. 2010. Scale-up of a bioprocess for textile wastewater treatment using *Bjerkandera adusta*. *Bioresource Technology*. 108: 1005-1012.

Anjaneyulu Y., Sreedhara-Chary N. & Suman-Raj S., 2005. Decolourization of industrial effluents—available methods and emerging technologies—a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 4: 245–273.

Anto H., Trivedi U.B., & Petel K.C. 2006. Glucoamylase production by solid-state fermentation using rice flake manufacturing waste products as substrate. *Bioresource Technology*. 97: 1161-1166.

Balan D.S. & Monteiro R.T. 2001. Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi. *Journal of Biotechnology*. 89: 141-145.

Banat I., Nigram P., Singh D. & Marchant R. 2006. Microbial decolonization of textile dye containing solid media. *Dyes and Pigments*. 20:1-9.

Cabezas-Terán K.E. 2014. Obtención de un extracto enzimático con actividad lacásica por fermentación líquida del hongo *Pleurotus ostreatus* en un medio con bagazo de maíz a escala laboratorio para decoloración de colorantes textiles. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8614>, Quito, Ecuador, (consultado, Septiembre, 2017).

Cervantes F.J, Van der Zee F.P, Lettinga G. & Field J.A. 2001. Enhanced decolourisation of acid orange 7 in a continuous UASB reactor with Quinones as redox mediators. *Water Science and Technology*. 44: 123-128.

Cervantes F.J. 2008. Reducción de colorantes azo por distintos grupos microbianos en consorcios anaerobios. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 12(3): 6-10.

- Cervantes F.J., Duong-Dac T., Roest K., Akkermans A.D.L., Lettinga G. & Field J.A. 2003. Enrichment and immobilization of quinone-respiring bacteria in anaerobic granular sludge. *Water Science and Technology*. 48: 9-16.
- Chhaya J., Thaker J., Mittal R., Nuzhat S., Mansuri A.P. & Kundu R. 1997. Influence of textile dyeing and printing industry effluent on ATPases in liver, brain, and muscle of mudskipper, *Periophthalmus dipes*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 58: 793-800.
- Cortázar-Martínez A., González-Ramírez C.A., Coronel-Olivares C., Escalante-Lozada J.A, Castro-Rosas J. & Villagómez-Ibarra R. 2012. Biotechnology applied to the degradation of textile industry dyes. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 31(28): 187-199.
- Cruz A. & Buitrón G. 2001. Biodegradation of disperse blue 79 using sequenced anaerobic/aerobic biofilters. *Water Science and Technology*. 44(4): 159-166.
- Dias A.A., Sampaio A. & Bezerra R.M. 2007. Environmental applications of fungal and plant systems: decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs. In: Singh S.N., Tripathi R.D. (eds) *Environmental Bioremediation Technologies*. Springer, Berlin, Heidelberg. 445-463.
- Dos-Santos A., Cervantes F. & Van-Lier J. 2007. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Water Science and Technology*. 98: 2369-2385.
- Faroco V., Pezzella C., Miedele A., Giardina P. & Sannia G. 2009. Bio-remediation of colored industrial wastewaters by the white-rot fungi *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus ostreatus* and their enzymes. *Biodegradation*. 20: 209-220.
- Field J.A., Cervantes F.J., Van der Zee F.P. & Lettinga G. 2000. Role of quinones in the biodegradation of priority pollutants: a review. *Water Science and Technology*. 42(6): 215-222.
- Foust A., Leonard A., Curtis W., Lous M. & Brynce. 2001. Principios de operaciones unitarias. *Manual de operaciones sanitarias*. Compañía Editorial Continental. 35-40.
- Garzón-Jiménez R.C. 2009. Cinética de crecimiento de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias inmovilizados sobre fibra de *Agave tequila* Webber var. Azul. <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis217.pdf> (consultado, Noviembre, 2017).
- Gomes M.K.M. & Matheus D.R. 2006. Biodegradation of remazol brilliant blue R by ligninolytic enzymatic complex produced by *Pleurotus ostreatus*. *Brazilian Journal of Microbiology*. 37: 468-473.

- Gómez-Bertel, S., Amaya-Bulla, D., Maldonado-Saavedra, C., Martínez-Salgado, M.M., Quevedo-Hidalgo, B., Soto-Gúzman, A. & Pedroza-Rodríguez, A.M. 2008. Evaluación de *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus* y *Aspergillus niger* como alternativa para el tratamiento de aguas residuales del curtido de pieles. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 24(3):93-106.
- González L.V. & Escamilla E.M. 2008. Biodegradación anaerobia de colorantes azoicos textiles usando carbón activado. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 12(3):34-35.
- Grandes-Blanco A.I, Díaz-Godínez G., Téllez-Téllez M., Delgado-Macuil R.J., Rojas-Lopez M. & Bibbins-Martínez M.D. 2013. Ligninolytic activity patterns of *Pleurotus ostreatus* obtained by submerged fermentation in presence of 2,6-dimethoxyphenol and remazol brilliant blue r dye. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. 43:468–480.
- Guaratini C.C.I. & Zanori M.V.M. 2000. Textile Dyes. *Química Nova*. 23: 71-78.
- Gupta V. K. & Suhas. 2009. Application of low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Journal of Environmental Management*. 90: 2313-2342.
- Ha H-C., Honda Y., Watanabe T. & Kuwahara M. 2001. Production of Manganese Peroxidase by pellet culture of the lignin-degrading basidiomycete, *Pleurotus ostreatus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 55: 704-711.
- Harald C. 2004. Laccases: structure, reactions, distribution. *Micron*. 35: 93-96.
- Chudgar R. J. 2000. Azo Dyes. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 74-82, 753-773 & 857-863.
- Kravetz S., Giorgi A. & Gonzalez B. 2016. Matrix evaluation for decolorization of textile effluents using *Pleurotus ostreatus*. *Gestión y Ambiente* 19(2): 252-263.
- Kuhad R.C., Sood N., Tripathi K.K., Singh A. & Ward O.P. 2004. Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Advances in Applied Microbiology*. 56: 185-213.
- Kunjadala P.D., Sanghvi G.V., Kunjadia A.P., Mukhopadhyay P.N. & Dave G.S. 2016. Role of ligninolytic enzymes of white rot fungi (*Pleurotus spp.*) grown with azo dyes. *SpringerPlus*. 5: 1487-1495.
- Kurmar V.V., Kirupha S.D., Periyaraman P. & Sivanesan S. 2011. Screening and induction of laccase activity in fungal species and its application in dye decolorization. *African Journal of Microbiology Research*. 5(11): 1261-1267.
- Mansillas H.D., Lizama C., Gutarra A. & Rodríguez J. 2015. Tratamiento de residuos líquidos de la industria de Celulosa y textil, https://www.researchgate.net/publication/237275070_TRATAMIENTO_DE_RESIDUOS_

Noviembre 2017).

Manu B. & Chaudhari S. 2002. Anaerobic decolorization of simulated textile waste water containing azo dyes. *Bioresource Technology*. 82: 225–231.

Mendoza-Hernández J.C., Martínez-Tecuatl N., Jaramillo-Hernández O., Arriola-Morales J., Pérez-Osorio G. & Espinosa-Aquino B. 2010. Biodegradación De Colorantes Textiles Mediante *Sphingobacterium multivorum* y *Acinetobacter haemolyticus*. *El Ambiente y las Ciencias*. 1(1): 1-13.

Moeller G. & Garzón M. 2006. Decoloración y reducción de toxicidad de efluentes de la industria química de colorantes y pigmentos. Informe, primera etapa; <https://www.imta.gob.mx/images/pdf/informes-anauales/informe2006/tratamiento-calidad.pdf> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México, (consultado, Noviembre, 2017).

Moeller G., Sandoval L., Mijiaylova P., Mandujano E.M., Mejía M., Farfán M.A., Mendoza A. & Bahena E. 2015. Evaluación de diferentes procesos de tratamientos para la remoción de colorantes sintéticos utilizados en la industria textil. Informe final Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, SEMARNAT. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1406/TC-1223.1.pdf?sequence=1>

Nitheranont T., Watanabe A., Suzuki T., Katayama T. & Asada Y. 2011. Decolorization of synthetic dyes and biodegradation of bisphenol A by laccase from the edible mushroom, *Grifola frondosa*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 5 (9): 1845-1847.

Papinutti L. & Forchiassin F. 2010. Adsorption and decolorization of dyes using solid residues from *Pleurotus ostreatus* mushroom production. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 15: 102-109.

Pearce CI, Lloyd JR, Guthrie JT. 2003. The removal of colour from textile waste water using whole bacterial cells: a review. *Dyes and Pigments*. 58: 179–196.

Piña-Mondragón S. 2007. Decoloración biológica del colorante azul directo 2 en un filtro anaeróbico/aeróbico.

http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/?func=service&doc_library=TES01&doc_number=000619982&line_number=0001&func_code=WEB-BRIEF&service_type=MEDIA, México, (consultado, Septiembre, 2017).

Prachi K. & Anushree M. 2008. Fungal dye decolorization: Recent advances and future potential. *Environment International*. 35: 127-141.

Ranganathan K., Jeyapaul S. & Sharma D. 2007. Assessment of water pollution in different bleaching based paper manufacturing and textile dyeing industries in India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 134: 363-372.

Ruiz-Balaguera S.E. 2011. Evaluación de la remoción del colorante índigo utilizando en empresas dedicadas a la producción de las telas tipo DENIM empleando a *Pleurotus ostreatus* como modelo biológico. <http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/3170/Sonia%20Esperanza%20Ruiz%20Balaguera.pdf;sequence=1>, Colombia, (consultado, Septiembre, 2017).

Salame T.M., Yarden O. & Hadar Y. 2010. *Pleurotus ostreatus* manganese dependent peroxidase silencing impairs decolorization of Orange II. *Microbial Biotechnology*. 3: 93-106.

Sanz-Tejedor A. 2009. La industria de los colorantes y pigmentos en Química de los Alimentos. In: Ciencia y Tecnología. Universidad de Zaragoza. 13-16.

Sathiskurmar P., Murugesan K. & Palvannan T. 2010. Production of laccase from *Pleurotus ostreatus* using agrowastes and efficient decolorization of Reactive blue 198. *Journal of Basic Microbiology*. 50: 360-367.

Sponza D.T & Işık M. 2004. Decolorization and inhibition kinetic of Direct Black 38 azo dye with granulated anaerobic sludge. *Enzyme Microbial Technology*. 34: 147–158.

Téllez-Téllez M., Fernández F.J., Montiel-González A.M., Sánchez C. & Díaz-Godínez G. 2008. Growth and laccase production by *Pleurotus ostreatus* in submerged and solid-state fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 81: 675-679.

Texteira S., Pereira P. & Ferreira-Leitao V. 2010. Extraction and application of laccases from Shimeji Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) residues in decolorization of reactive dyes and a comparative study using commercial laccase from *Aspergillus oryzae*. *Enzyme Research*. 2010, 905896.

Vishnu G., Palanisamy S. & Kurian J. 2007. Assessment of field scale zero liquid discharge treatment systems for recovery of water and salt from textile effluents. *Journal of Cleaner Production*. XX: 1-9.

Yesilada O., Asma D. & Cing S. 2003. Decolorization of textile dyes by fungal pellets. *Process Biochemistry*. 38: 933-938.

Zhao X., Hardinb I. & Hwanga H. 2007. Biodegradation of a model azo disperse dye by the white rot fungus *Pleurotus ostreatus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 57: 1-6.