

Decoloración de aguas residuales provenientes de la industria textil

Adriana Cortazar Martínez, César Abelardo González Ramírez*,
Javier Castro Rosas, Claudia Coronel Olivares,
José Adelfo Escalante Lozada y José Roberto Villagómez Ibarra

Introducción

En promedio, la industria textil genera de 40 a 65 litros de aguas residuales por kilogramo de ropa procesada. Estas aguas residuales se caracterizan por su color. Durante los procesos de teñido, una gran cantidad de colorantes son vertidos en las aguas residuales. La presencia de colorantes en el agua no solo representa un problema estético, sino que también interfiere en el proceso fotosintético que realizan algunos organismos (Soares *et al.*, 2000). El incremento en la demanda de productos textiles ha causado un aumento en el vertido de las aguas residuales que este tipo de industrias generan, por lo tanto hay una fuerte demanda de tecnologías que permitan eliminar el color en las aguas residuales. Sin embargo, algunas tecnologías son altamente específicas, tienen costos elevados, no se aplican para una amplia variedad de colorantes y no resuelven el problema de la decoloración (Kuhad *et al.*, 2004; Anjaneyulu *et al.*, 2005). El uso de microorganismos, así como de las enzimas que puedan aislarse constituyen un área de oportunidad para el desarrollo de tecnologías que permitan la remoción del color en aguas residuales y por lo tanto su reutilización (Zhang *et al.*, 2000). En esta revisión se pretende dar a conocer algunas de las tecnologías utilizadas para la eliminación del color, haciendo énfasis en los métodos biológicos.

Contaminación generada por colorantes provenientes de la industria textil

Los efluentes de la industria textil se caracterizan por fluctuaciones extremas en muchos parámetros como: demanda química de oxígeno (800-1600 mg/L), pH (generalmente alcalino, de 9-11), sólidos totales (6000-7000 mg/L) y color (1100-4500 unidades). La composición del agua residual dependerá de las sustancias y colorantes que se usen durante el proceso (Manu *et al.*, 2002; Kuhad, *et al.*, 2004; Dos Santos, *et al.*, 2007, Ranganathan *et al.*, 2007).

En la figura 6.1 se muestra parte del proceso que se lleva a cabo en la industria textil y los contaminantes que se generan (Dos Santos, *et al.*, 2007). En el proceso de teñido se generan una gran cantidad de efluentes con colorantes ya que alrededor del 30% de los colorantes se pierden debido a las ineficiencias del proceso y son descargados a los efluentes. El uso de una amplia variedad de colorantes químicos en periodos cortos de tiempo da origen a efluentes extremadamente variados en su composición, que requieren de un tratamiento de aguas muy complejo (Nigam, *et al.*, 1996; Kandelbauer, *et al.*, 2005; Días, *et al.*, 2007).

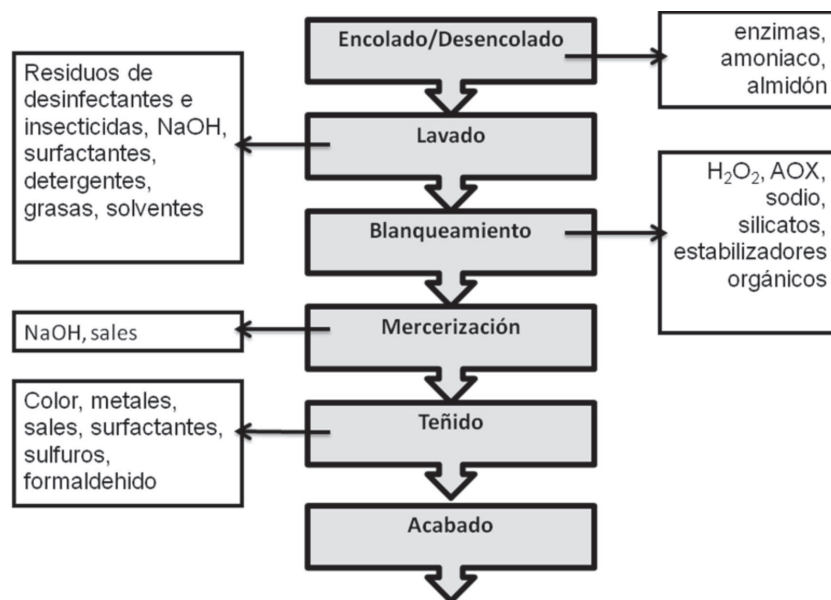


Figura 6.1 Principales contaminantes involucrados en algunos procesos de la industria textil del algodón (Modificado de Dos Santos *et al.*, 2007)

Ademoroti y colaboradores (1992) realizaron un estudio de las descargas de efluentes textiles en Nigeria. Se encontró que el blanqueado, calentamiento y teñido son tres de los

procesos que más consumo de agua tienen. En este estudio además se evaluó la calidad del cuerpo receptor antes y después de las descargas (Tabla 6.1). Como puede verse, la calidad del cuerpo receptor se afecta considerablemente.

Tabla 6.1 Efecto del efluente de una industria textil sobre la calidad del cuerpo receptor (Modificada de Ademoroti *et al.*, 1992).

| Parámetro | Agua residual proveniente de diferentes procesos de una fábrica textil | Calidad del cuerpo de agua | |
|---------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | | Antes de la descarga del efluente | Después de la descarga del efluente |
| Color | Azul | Claro | Azul cielo |
| pH | 8.4-10 | 7.2 | 7.7 |
| SS (mg/L) | 185.0-294.0 | 11.3 | 67.6 |
| ST (mg/L) | 1500-2470 | 23.4 | 298.3 |
| OD (mgO ₂ /L) | *** | 8.3 | 1.3 |
| DBO (mgO ₂ /L) | 420-674 | 2.0 | 98.7 |
| DQO (mgO ₂ /L) | 843.5-1171.0 | *** | *** |

Tasa de descarga: 258 L/min.

*** No se menciona

Colorantes utilizados en la industria textil

Más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados en diferentes industrias como la textil, papelera, cosmética, farmacéutica, entre otras. Del 2 al 50% de estos colorantes forman parte de las aguas residuales y se consideran como contaminantes persistentes que no pueden removerse con los métodos convencionales empleados en el tratamiento de aguas. Los colorantes están formados por un grupo de átomos responsables del color denominados cromóforos, los más comunes son los azo (-N=N-), carbonilo (C=O), metilo (-CH₃), nitro y grupos quinoides. Los colorantes también pueden contener otros grupos que incrementan la intensidad del color y que pueden ser de tipo reactivo, ácidos, directos, básicos, dispersos, aniónicos, sulfuros, etc. En la Figura 6.2 se muestran ejemplos de algunos de los colorantes y sus grupos cromóforos (Días *et al.*, 2007). Los colorantes que se emplean en la industria textil han sido diseñados para ser altamente resistentes al lavado, agentes químicos como los solventes y factores ambientales como la luz, agua y ataque microbiano. La principal razón por la que se les reconoce como compuestos recalcitrantes son las complejas estructuras aromáticas unidas a los enlaces azo y a su origen sintético (Kuhad *et al.*, 2004; Días *et al.*, 2007; Dos Santos *et al.*, 2007).

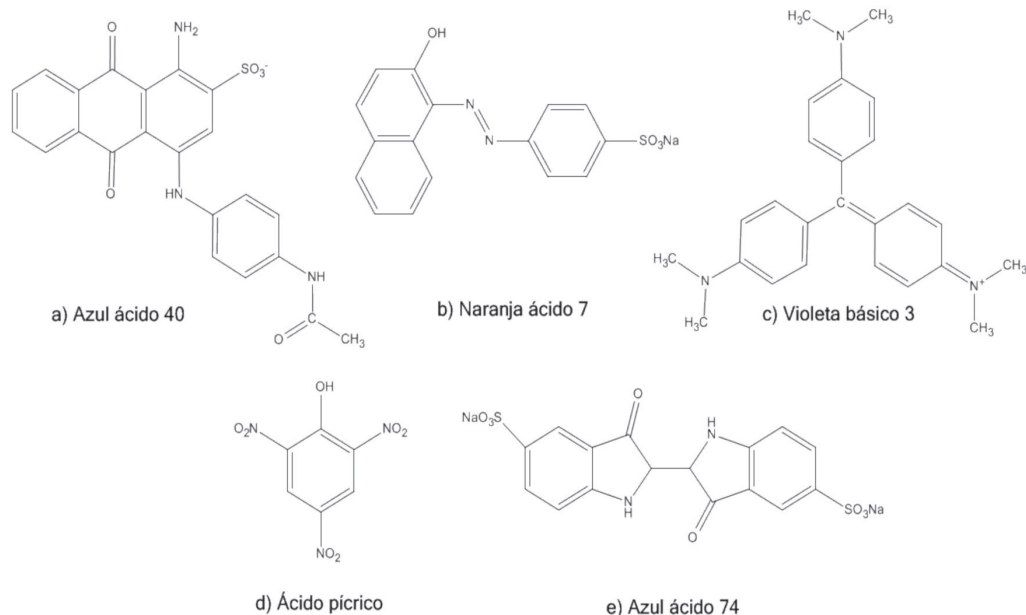


Figura 6.2 Ejemplo de algunos colorantes textiles y sus clases de cromóforos: (a) antraquinona (b) azo (c) triarilmetano (d) nitro y (e) Índigo.

Aproximadamente del 10 al 15% de los colorantes son desechados al ambiente durante el proceso de teñido de diferentes fibras (naturales y sintéticas), plásticos, piel, papel, aceites minerales, ceras e incluso en alimentos y cosméticos. Se ha demostrado que ciertos colorantes azo pueden ser carcinogénicos y mutagénicos, además de que sus productos de degradación pueden resultar más tóxicos (Brown *et al.* 1993; Ramsay *et al.* 2002; Giordano *et al.*, 2005; Gavril *et al.* 2007). La toxicidad de colorantes se ha evaluado utilizando diversos bioindicadores como *Daphnia magna*, *Salmonella thyphimurium* y peces, además se han realizado ensayos en ratas e incluso monitoreos biológicos a trabajadores de la industria textil (Mathur *et al.*, 2003; Bae *et al.*, 2006; Chhaya *et al.* 2007; Dönbak *et al.*, 2006 y Kwon *et al.*, 2008).

Tecnologías utilizadas en la remoción de color de aguas residuales

Existen diversos métodos que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales con colorantes, los cuales se aplican de manera eficiente y se encuentran disponibles comercialmente. Algunas tecnologías son altamente específicas, tienen costos elevados, no se pueden aplicar para una amplia variedad de colorantes y no resuelven satisfactoriamente el proble-

ma de la decoloración (Kuhad *et al.*, 2004; Anjaneyulu *et al.*, 2005;). Entre los métodos más utilizados destacan los siguientes:

Métodos físicos

La adsorción es uno de los métodos físicos más comunes para la remoción de colorantes, pero resulta ser una tecnología que se ve afectado por un gran número de factores como el área superficial del sorbente, el tamaño de partícula, el tipo de colorante, el pH, la temperatura, entre otros (Kumar *et al.*, 1998). El carbón activado ha resultado efectivo en remover colorantes catiónicos y ácidos (Raghavacharya, 1997). Este tipo de material tiene un costo elevado, además de que se producen pérdidas en la regeneración. Por otro lado, los materiales menos costosos como las virutas de madera, requieren más tiempo de contacto (Nigam *et al.*, 2000).

Otro método empleado es la filtración por membrana, la cual se utiliza para remover colorantes que se encuentran en bajas concentraciones. Esta tecnología permite el reciclaje del agua residual (Xu *et al.*, 1999; Fersi *et Dhahbi*, 2008). Es un sistema resistente a temperatura y ataques microbianos, aunque el proceso resulta costoso. Es ineficiente para la remoción de sólidos disueltos, por lo que son necesarios tratamientos adicionales (Slokar *et Le Marechal*, 1998)

Por último, el intercambio iónico es un método muy efectivo para remover colorantes catiónicos y aniónicos. No hay mucha pérdida en la regeneración de los solventes. Los solventes orgánicos utilizados son caros. Sólo tiene aplicaciones específicas, por lo que no se utiliza con frecuencia (Slokar *et Le Marechal*, 1998)

Métodos químicos

La oxidación con el reactivo de Fenton es un método adecuado para el tratamiento de aguas residuales resistentes a un tratamiento biológico, este método puede ser usado para tratar colorantes solubles e insolubles (Pak *et Chang*, 1999). Una desventaja de este método es la formación de lodos residuales y de aminas aromáticas que pueden resultar ser tóxicas.

Los métodos fotoquímicos (UV/H₂O₂) pueden utilizarse para degradar moléculas orgánicas en CO₂ y agua, ya sea en lote o en un sistema continuo con cortos tiempos de exposición (Yang *et al.*, 1998).

La remoción electroquímica de colorantes es un proceso relativamente nuevo que tiene una eficiente remoción de colorantes y la degradación de contaminantes sin generar subproductos tóxicos o lodo (Pelegri *et al.*, 1999)

Métodos biológicos

Dentro de los microorganismos con capacidad de degradar colorantes se encuentran bacterias como *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas mendocina*, *Bacillus subtilis*, *Streptomyces sp.*, *Shewanella decolorationis*, así como hongos de las especies *Funalia trogii*,

Aspergillus niger, *Phanerochaete chrysosporium*, *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*, entre otros. Los microorganismos utilizan una amplia variedad de mecanismos como la bioabsorción, la biodegradación (aerobia o anaerobia) y la producción de exoenzimas (Kuhad *et al.*, 2004). Los métodos biológicos se consideran como efectivos, específicos y menos nocivos al ambiente (Baker *et Herson*, 1994).

Un método novedoso para la remoción del color de efluentes es la adsorción o absorción de las sustancias coloridas en varios materiales como: aserrín, carbón activado, arcillas, suelos, composta, lodos activados, comunidades vegetales, polímeros sintéticos o sales inorgánicas coagulantes (Chandran *et al.*, 2002). Algunas especies de bacterias y hongos han sido reportadas por su capacidad para remover colorantes utilizando el proceso de adsorción. El trabajo de Chen *et al.* (1999), reporta un alto porcentaje de decoloración de una solución de un colorante azo (rojo RBN) utilizando una cepa de *Proteus mirabilis*, aislada de un lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales. También se puede lograr la eliminación del color a través del proceso de biosorción usando células de hongos (Fu *et Viraraghavan* 2002; Zhang *et al.*, 2003 y Bhole *et al.*, 2004).

En algunos casos, el mecanismo de decoloración implica no solamente la adsorción, sino también un proceso de degradación enzimática (Knapp *et al.*, 1997; Park *et al.*, 2007 y Yesilada *et al.*, 2010). La habilidad de algunas especies de *Streptomyces* para decolorar y mineralizar colorantes textiles se ha comprobado en diferentes estudios (Ball *et al.*, 1989; Goszczynski *et al.*, 1994 y Ball *et Cotton*, 1996).

La decoloración de colorantes azo puede llevarse a cabo de manera aerobia o anaeróbica, dependiendo del tipo de bacteria que realice el proceso. Hay otros reportes sobre el metabolismo aerobio de colorantes azo utilizando diferentes cepas de bacterias, por ejemplo *Aeromonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Proetus mirabilis* y *Pseudomonas luteola* (Horitsu *et al.*, 1977; Chen *et al.*, 1999; Chang *et Lin* 2000 y Hayase *et al.*, 2000). Algunas especies de *Citrobacter* sp. tiene la capacidad de decolorar diversos colorantes recalcitrantes de tipo azo y trifenilmetano, utilizando mecanismos de biosorción y biodegradación (An *et al.*, 2002). El cristal violeta (colorante trifenilmetano) puede ser degradado a través de una mineralización aeróbica por bacterias como *Pseudomonas mendocina* (Sarnaik *et Kanekar* 1999) y *Pseudomonas putida* (Chen *et al.*, 2007). Se ha reportado la completa mineralización de colorantes en condiciones anaerobias utilizando cultivos mixtos de lodos activados o cultivos enriquecidos (Nigam *et al.*, 1996 y González-Gutierrez *et al.*, 2009). Haug *et al.* (1991) lograron la completa mineralización de un colorante azo bajo condiciones anaerobias utilizando un consorcio bacteriano crecido en condiciones aeróbicas. En el trabajo de Yu *et al.* (2001) se aislaron cepas de un lodo activado de un sistema aerobio-anaerobio, logrando la degradación en condiciones anóxicas de colorantes azo con diferentes estructuras químicas utilizando cepas de *Pseudomonas*. La velocidad de degradación dependió de las condiciones ambientales como: el pH, la temperatura, los nutrientes, entre otros.

Los hongos de la putrefacción blanca (PB) son los organismos más estudiados en la degradación de colorantes debido a que son capaces de degradar sustratos complejos a través de un sistema enzimático no específico (Knapp *et al.*, 2001). La decoloración de colorantes por

hongos PB fue reportada por primera vez por Glenn y Gold (1983), quienes evaluaron la decoloración de colorantes poliméricos sulfonados utilizando *Phanerochaete chrysosporium*. A partir de entonces se han publicado numerosos trabajos donde se evalúa la capacidad de *P. chrysosporium* y de otros hongos como *Cyathus bulleri*, *Trametes versicolor*, *Phlebia tremellosa*, *Thelephora* sp. para degradar colorantes (Goszczyński *et al.*, 1994; Vasdev *et al.* 1994; Swamy *et al.* 1999; Kirby *et al.*, 2000; Selvam *et al.*, 2003 y Toh *et al.*, 2003).

Las células vivas se consideran como un reactor de decoloración en miniatura. La transformación bioquímica del colorante puede ocurrir fuera de las células si las enzimas son excretadas al medio o dentro de la célula si el colorante puede ser transportado al interior de ésta. Algunas de las enzimas que se utilizan en la degradación de colorantes son lacasas, peroxidasas, monooxigenasas y dioxigenasas entre otras (Kandelbauer *et al.* 2005). Las enzimas extracelulares como las lacasas y peroxidasas generalmente se producen por hongos, las cuales degradan la lignina (polímero presente en la madera). La habilidad de los hongos PB para degradar colorantes y otros compuestos xenobióticos se debe a su naturaleza no específica de su sistema enzimático. El uso de lacasas y peroxidasas para la degradación de compuestos xenobióticos resulta muy prometedor (Harvey *et al.* 2001).

Conclusiones

La industria textil ha crecido en los últimos años, sin embargo, genera una gran cantidad de aguas residuales, que contienen diversos contaminantes asociados a los procesos que se llevan a cabo en esta industria. El proceso de teñido es uno de los que más consumen agua y los colorantes utilizados se vierten al agua debido a las ineficiencias del mismo.

La eliminación de los colorantes de los efluentes de la industria textil representa un gran reto ambiental, de ahí la importancia de lograr la optimización de los procesos existentes así como el desarrollo de nuevas tecnologías amigables con el ambiente.

Una vez aplicadas las tecnologías de tratamiento de aguas residuales convencionales junto con un tratamiento para remover el color, es posible reutilizar esas aguas en algunos puntos del proceso.

La decoloración de aguas residuales puede lograrse aplicando métodos físicos como la adsorción o la filtración, químicos (oxidación, fotoquímicos, electroquímicos, entre otros) y mediante sistemas biológicos. La elección de la tecnología está en función de la caracterización del efluente, del uso final del agua residual, de los costos, de los tipos de colorantes, entre otros aspectos. Los métodos físicos y químicos presentan altos porcentajes de remoción del color aunque generalmente son costosos, presentan problemas de operación y generación de residuos tóxicos. Por otro lado, los sistemas biológicos son capaces de mineralizar los colorantes, aunque su eficiencia está en función de la adaptación de los microorganismos durante el proceso. Es por ello que el uso de microorganismos para decolorar aguas residuales ha sido ampliamente utilizado. Se ha logrado identificar las enzimas involucradas en la degradación de colorantes y desarrollar tecnologías utilizando dichas enzimas. Las es-

estructuras químicas de los colorantes resultan, a menudo, demasiado complejas para utilizar un tratamiento simple, por lo que generalmente se utilizan consorcios microbianos con la capacidad de degradar colorantes obteniendo altos porcentajes de degradación para algunos colorantes

El desarrollo de la ingeniería genética constituye un paso importante para conocer aspectos claves sobre los microorganismos involucrados en el proceso de biodegradación, así como para encontrar nuevas enzimas, nuevos metabolismos y nuevos microorganismos capaces de metabolizar los colorantes.

Referencias

- Ademoroti, A., Ukponmwan, O., Omode, A. (1992) Studies of textile effluent discharges in Nigeria', *International Journal of Environmental Studies*, 39:291–296.
- An SY, Min SK, Cha IH, Choi YK, Cho YS, Kim CH, Lee YC (2002) Decolorization of triphenylamine and azo dyes by *Citrobacter* sp. *Biotechnol. Lett.* 24:1037–1040.
- Anjaneyulu Y, Sreedhara-Chary N, Suman-Raj S (2005) Decolourization of industrial effluents – available methods and emerging technologies – a review. *Rev. Environ. Sci. Technol.* 4:245–273.
- Bae SJ, Freeman SH, Kim DS (2006) Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. *Fiber Polymer* 7: 30-35.
- Ball AS, Betts WB, McCarthy AJ (1989) Degradation of lignin related compounds by actinomycetes. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 1642–1644.
- Ball AS, Cotton J (1996) Decolourization of two polymeric dye Poly R by *Streptomyces viridosporus* T7A. *J. Basic Microbiol.* 36: 13–18.
- Baker KH, Herson DS (1994) Introduction and overview of bioremediation. En “Bioremediation” (K. H. Baker and D. S. Herson, eds.), pp. 1–7. McGraw Hill, New York.
- Bhole BD, Ganguly B, Madhuram A, Deshpande D, Joshi J (2004) Biosorption of methyl violet, basic fuchsin and their mixture using dead fungal biomass. *Curr. Sci.* 86:1641–1645.
- Brown MA, De Vito SC (1993) Predicting azo dye toxicity. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 23:249–324
- Chandran CB, Singh D, Nigam P (2002) Remediation of textile effluent using agricultural residues. *Appl. Biochem. Biotech.* 102-103:207-212.
- Chang JS, Lin YC (2000) Fed-batch bioreactor strategies for microbial decolorization of azo dye using a *Pseudomonas luteola* strain. *Biotechnol. Prog.* 16:979–985.
- Chen KC, Huang WT, Wu Y, Houng JY (1999) Microbial decolourization of azo dyes by *Proteus mirabilis*. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 23:686–690.

- Chen CC, Liao HJ, Cheng CY, Yen CY, Chung YC (2007) **Biodegradation of crystal violet by *Pseudomonas putida***. *Biotechnol. Lett.*, 29:391-396.
- Chhaya J, Thaker J, Mittal R, Nuzhat S, Mansuri AP, Kundu R (2007) Influence of textile dyeing and printing industry effluent on ATPases in liver, brain, and muscle of mudskipper, *Periophthalmus dips*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 58:793-800.
- Dias AD, Sampaio A, Bezerra RM (2007) Environmental applications of fungal and plant systems: decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs. En *Environmental Bioremediation Technologies* (Editores Singh SN & Tripathi RD) Springer Berlin Heidelberg. 445-463.
- Dönbak L, Rencuzogullari E, Topaktas M, Sahin G (2006) A Biomonitoring Study on the Workers from Textile Dyeing Plants. *Genetika.* 42:613-618.
- Dos-Santos A, Cervantes F, Van-Lier J (2007) Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresour. Technol.* 98:2369-2385.
- Fersi C, Dhahbi M (2008) Treatment of textile plant effluent by ultrafiltration and/or nanofiltration for water reuse. *Desalination.* 222:263-271.
- Fu Y, Viraraghavan T (2002) Dye biosorption sites in *Aspergillus niger*. *Biores. Technol.* 82:139-145.
- Gavril M, Hodson PV (2007) Investigation of the Toxicity of the Products of Decoloration of Amaranth by *Trametes versicolor*. *J. Environ. Qual.* 36:1591-1598.
- Giordano A, Grilli S, De Florio L, Mattioli D (2005) Effect of selected textile effluents on activated sludge nitrification process. *J. Environ. Sci. Health A. Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.* 40:1997-2007.
- Glenn JK, Gold MH (1983). Decolorization of several polymeric dyes by the lignin degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:1741-1747.
- González-Gutiérrez LV, Escamilla-Silva EM (2009) Proposed pathways for the reduction of a reactive azo dye in an Anaerobic Fixed Bed Reactor. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 25:415-426.
- Goszczynski S, Paszczynski A, Pasti-Grigsby MB, Crawford RL, Crawford DL (1994) New pathway for degradation of sulfonated azo dyes by microbial peroxidases of by *Phanerochaete chrysosporium* and *Streptomyces chromofuscus*. *J. Bacteriol.* 176:1339-1347
- Harvey P, Thurston C (2001) The biochemistry of ligninolytic fungi. En *Fungi in Bioremediation* (Editor Gadd GM) Cambridge University Press. 27-51.
- Haug W, Schmidt A, Nörtemann B, Hempel DC, Stolz A, Knackmuss HJ (1991) Mineralization of the sulfonated azo dye mordant yellow 3 by 6-aminonaphthalene-2-sulfonate-degrading bacterial consortium. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:3144-3149

- Hayase N, Kouno K, Ushio K (2000) Isolation and characterization of *Aeromonas* sp. B-5 capable of decolorizing various dyes. *J. Biosci. Bioeng.* 90:570–573.
- Horitsu H, Takada M, Idaka E, Tomoyeda M, Ogawa T (1977) Degradation of p-aminoazobenzene by *Bacillus subtilis*. *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 4:217–224.
- Kandelbauer A, Guebitz GM (2005) Bioremediation for the decolorization of textile dyes - a review. En *Environmental Chemistry* (Editores: Lichtfouse E, Dudd S, Robert D) Springer Berlin Heidelberg. 269-288.
- Kirby N, Marchant R, McMullan G (2000) Decolourisation of synthetic textile dyes by *Phlebia tremellosa*. *FEMS Microbiol. Lett.* 188:93–96.
- Knapp JS, Vantoch-Wood EJ, Zhang F (2001) Use of wood-rotting fungi for the decolorization of dyes in and industrial effluent. En *Fungi in Bioremediation* (Editor Gadd GM) Cambridge University Press. 242–304.
- Knapp JS, Zhang F, Tapley KN (1997) Decolourisation of Orange II by a wood rotting fungus. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 69:289–296.
- Kuhad RC, Sood N, Tripathi KK, Singh A, Ward OP (2004) Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Adv. Appl. Microbiol.* 56:185-213.
- Kumar, M. N. V. R., Sridhar, T. R., Bhavani, K. D., and Dutta, P. K. (1998). Trends in color removal from textile mill effluents. *Colorage* 40, 25–34.
- Kwon JH, Lee HK, Kwon J, Kim K, Park E, Kang MH, Kim YH (2008) Mutagenic activity of river water from a river near textile industrial complex in Korea. *Environ. Monit. Assess.* 142:289–296.
- Manu, B., and Chaudhari, S. (2002). Anaerobic decolorization of simulated textile wastewater containing azo dyes. *Biores. Technol.* 82, 225–231.
- Mathur N, Krishnatrey R, Sharma S, Sharma KP (2003) Toxic effects of textile printing industry effluents on liver and testes of albino rats. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 71:453–457.
- Nigam P, McMullan G, Banat IM, Singh D, Marchant R (1996) Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes. *Process Biochem.* 31:435-442.
- Nigam P, Armour G, Banat IM, Singh D, Marchant R (2000) Physical removal of textile dyes from effluents and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues. *Biores. Technol.* 72:219–226.
- Pak D, Chang W (1999). Decolorizing dye wastewater with low temperature catalytic oxidation. *Water Sci. Technol.* 40:115–121.
- Park C, Lee M, Lee B, Kim SW, Chase HA, Lee J, Kim S (2007). Biodegradation and biosorption for decolorization of synthetic dyes by *Funalia trogii*. *Biochem. Eng. J.* 36:59-65
- Pelegriani R, Peralto-Zamora P, De Andrade R, Ryers J, Duran N (1999) Electrochemically assisted photocatalytic degradation of reactive dyes. *Appl. Catal. B: Environ.* 22:83–90.

- Raghavacharya C (1997) Colour removal from industrial effluents—a comparative review of available technologies. *Chem. Eng. World* 32:53–54.
- Ramsay JA, Nguyen T (2002) Decoloration of textile dyes by *Trametes versicolor* and its effect on dye toxicity. *Biotechnol. Lett.* 24:1757–1761.
- Ranganathan K, Jeyapaul S, Sharma D (2007) Assessment of water pollution in different bleaching based paper manufacturing and textile dyeing industries in India. *Environ Monit Assess* 134:363–372.
- Sarnaik S, Kanekar P (1999) Biodegradation of methyl violet by *Pseudomonas mendocina* MCM B-402. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52:251–254.
- Selvam K, Swaminathan K, Chae KS (2003) Decolorization of azo dyes and a dye industry effluent by a white rot fungus *Thelephora* sp. *Biores. Technol.* 88:115–119.
- Slokar YM, Le Marechal AM (1998) Methods of decoloration of textile wastewater. *Dyes Pigments.* 37:335–356.
- Soares GMB, Hrdina R, Pessoa de Amorim MT, Costa-Ferreira M (2002) Studies on biotransformation of novel disazo dyes by laccase. *Proc. Biochem.* 37:581–587.
- Swamy J, Ramsay JA (1999) The evaluation of white rot fungi in the decolorization of textile dyes. *Enz. Microb. Technol.* 24:130–137.
- Toh YC, Yen JL, Obbard JP, Ting YP (2003) Decolourisation of azo dyes by white-rot fungi (WRF) isolated in Singapore. *Enz. Microb. Technol.* 33:569–575.
- Vasdev, K, Kuhad, RC (1994). Decolorization of poly R-478 (Polyvinylamine sulfonate Anthra Pyridone) by *Cyathus bulleri*. *Folia Microbiol.* 39, 61–64.
- Xu Y, Leburn RE (1999) Treatment of textile dye plant effluent by nanofiltration membrane. *Separ. Sci. Technol.* 34:2501–2519
- Yang Y, Wyatt DT, Bahorski M (1998) Decolorization of dyes using UV/H₂O₂ photochemical oxidation. *Text. Chem. Color* 30:27–35.
- Yesilada O, Cing S, Birhanli E, Apohan E, Asma D, Kuru F (2010) The evaluation of pre-grown mycelial pellets in decolorization of textile dyes during repeated batch process. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 26:33–39.
- Yu J, Wang X, Yue PL (2001) Optimal decolorization and kinetic modeling of synthetic dyes by *Pseudomonas* strains. *Wat. Res.* 35:3579–3586.
- Zhang X, Stebbing DW, Suddler JN, Beatson RP, Kruus K (2000) Enzyme treatments of the dissolved and colloidal substances present in mill white water and the effects on the resulting paper properties. *J Wood Chem Technol* 20:321–335
- Zhang SJ, Yang M, Yang QX, Zhang Y, Xin BP, Pan F (2003) Biosorption of reactive dyes by the mycelium pellets of a new isolate of *Penicillium oxalicum*. *Biotechnol. Lett.* 25:1479–1482.