

<https://orcid.org/0000-0001-7748-3344>
<https://orcid.org/0000-0002-8466-8803>
<https://orcid.org/0000-0003-1130-0781>

TECNOLOGÍAS MICROBIANAS DE REMOCIÓN DE COLORANTES AZOICOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL

REMOVAL BIOTECHNOLOGIES OF AZO DYES IN THE TEXTILE INDUSTRY

Jorge Bojalil-Carrillo, Maria Fernanda Hernández-Flores, Laisa Rosalba Segura-López.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Cs. Biológicas, Puebla,
México.

jorge.bojalilcarrillo@viep.com.mx, maria.hernandezflores@viep.com.mx,
laisar.seguralopez@viep.com.mx

Resumen.

La presencia de colorantes procedentes de la industria textil en las aguas residuales es un problema ambiental importante debido a que estos compuestos no se pueden eliminar mediante los métodos de remediación convencionales. Esta situación representa no solo un dilema ambiental sino también un problema de salubridad, debido a que muchos de estos compuestos químicos son cancerígenos. Esta variedad de colorantes son conocidos por gran uso en diferentes campos, ya que, se caracterizan por ser recalcitrantes, estables ante la luz, y tóxicos. Dentro de la industria textil, los colorantes azoicos tienen una gran importancia ya que su producción abarca hasta un 70% de los colorantes orgánicos que se encuentran en el mercado. En este artículo se clasifican y describen las distintas variedades de biorremediación que se utilizan en la industria textil para los colorantes tipo azo, además de mencionar algunas tecnologías convencionales como las fisicoquímicas, se revisan los reportes donde se han logrado degradar colorantes utilizando métodos biológicos, conocidos como nuevas tecnologías.

Palabras claves: *Biodecoloración, colorantes azoicos, residuo industrial, biorremediación, aguas residuales, industria textil.*

Abstract.

The presence of dyes from the textile industry in wastewater is a major environmental problem because these compounds cannot be removed by conventional remediation methods. This situation represents not only an environmental dilemma but also a health problem because many of these chemical compounds are carcinogenic. This variety of dyes are known to be widely used in different fields, as they are characterized by being recalcitrant, light stable, and toxic. Within the textile industry, azo dyes are very important since their production covers up to 70% of the organic dyes found in the market. This article classifies and describes the different varieties of bioremediation that are used in the textile industry for azo dyes, besides mentioning some conventional technologies such as physicochemical, it reviews the reports where dyes have been degraded using biological methods, known as new technologies.

Keywords: *Biodecoloration, azo dyes, industrial waste, bioremediation, wastewater, textile industry*

Introducción

Los colorantes son compuestos ampliamente usados en distintos campos industriales. Se estima que existen 100.000 tintes sintéticos comerciales y que la producción mundial supera las 700.000 toneladas por año (Wang et al. 2017). En diferentes industrias, desde la textil hasta la farmacéutica, se calcula que más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados. Existen estimaciones que señalan del 2 al 50 % de los colorantes se desechan en las aguas residuales (Figura 1) y se consideran como contaminantes persistentes que no pueden removerse con los métodos convencionales de tratamiento de aguas, debido a que presentan estructuras complejas o a su origen sintético (Cortazar-Martinez et al., 2012).



Figura 1. Desecho de tintes en el río Turag (Cole, 2019)

Se sabe que más de la mitad de los colorantes utilizados en la industria textil termina en las aguas descargadas por este sector industrial debido a su bajo grado de fijación en las telas (Zaruma-Arias et al, 2018). Los colorantes aplicados a esta industria tienen distintas procedencias y utilidades, aunque hoy en día los más empleados son los de origen sintético, los cuales no pueden ser degradados en el medio ambiente. Por esta razón muchos investigadores se han sumado a la búsqueda de poder eliminar estos contaminantes ya que estas sustancias son consideradas altamente recalcitrantes. (Zaruma-Arias et al, 2018). En efecto, a este tipo de colorantes se les han buscado aplicar técnicas adecuadas que puedan facilitar su degradación y eliminación en las aguas residuales de manera efectiva, de tal modo que al ser tratadas estas se puedan descargar al ambiente sin preocupación (Zaruma-Arias et al, 2018).

La biodegradación de estos colorantes se realiza por distintos métodos, por ejemplo, se cuentan con distintos métodos fisicoquímicos para el tratamiento de aguas coloreadas, que ofrecen resultados satisfactorios en la remoción de colorantes, pero su aplicación genera elevados costos y lodos. Por lo anterior, se ha incrementado el interés en la búsqueda de métodos de tratamientos económicos y eficientes, tales como los biológicos (Rojas & Hormaza, 2015). Para la biorremediación de estos colorantes se pueden utilizar cultivos mixtos, es decir, aquellos que estén conformados por dos grupos diferentes de especies. El primer grupo está conformado por microorganismos cuya función es fijar al consorcio microbiano, sin embargo, estos no participan en la degradación del colorante.

El segundo grupo está compuesto de microorganismos que puedan catalizar la lisis de los grupos funcionales de las moléculas en cuestión y la consecuente transformación de los productos metabólicos resultantes. Otra forma de poder de llevar a cabo la biodegradación es por medio de microorganismos aislados que son capaces de degradar estos compuestos, y para llevar a cabo esta degradación se utilizan técnicas de remediación enzimática (Cortazar-Martinez et al., 2012).

Estos colorantes azoicos son utilizados a gran escala en la industria textil. Primordialmente se utilizan durante el procesos de teñido de telas, y al finalizar estos efluentes con gran carga de colorantes son vertidos en las aguas residuales (Cortazar-Martinez et al., 2012).

Este tipo de compuestos se caracterizan por su carácter recalcitrante, su estabilidad ante la luz, y su toxicidad (Jaramillo-Flórez et al., 2018). Estos compuestos, al igual que la gran mayoría de los colorantes sintéticos, son poco biodegradables, y se ha demostrado que algunos de estos compuestos son cancerígenos y mutagénicos (Zaruma-Arias et al 2018).

Colorantes

En los procesos tintóreos se emplean colorantes y compuestos químicos que permiten fijar el color en la fibra. Un colorante es un compuesto capaz de proporcionar su color a un sustrato dado, por ejemplo, el algodón de las telas. Esta capacidad está dada por su estructura química. Se puede definir como toda “sustancia química que tiene la capacidad de absorber y reflejar ciertas longitudes de onda del espectro de luz” (González *et al.*, 2014).

Se entiende entonces que son aquellas moléculas orgánicas disueltas, como cromóforos moleculares, en el medio de aplicación (Orozco, 2018). Además del cromóforo en un colorante, el cual es el grupo responsable de la aparición del color, sin llegar a ser el principal, se necesita de la ayuda de un auxocromo conocido como auxiliar del color, el cual influye en el desplazamiento del color en el espectro y se utiliza con mayor influencia en la solubilidad del colorante; los cuales pueden ser: ácidos carboxílicos, ácido sulfónico, amino, e hidroxilo. Los colorantes pueden clasificarse según su origen (natural o sintético) o por los grupos funcionales químicos característicos que los componen.

Colorantes azoicos

Los colorantes azoicos se caracterizan por tener grupo azo (-N=N-) (Figura 2), uno carbonilo (C=O), metilo (-CH₃), nitro y grupos quinoides. (Cortazar-Martinez et al., 2012) De igual forma este grupo azo puede estar unido a otros grupos de fenilo o naftaleno, y contener iones como cloruro (-Cl), nitro (-NO₂), metilo (CH₃), amino (NH₂), hidroxilo (-OH) y carboxilo (-COOH). A menudo, llega a ubicarse un grupo sulfónico (-SO₃H) que en caso de ser encontrado en los colorantes son llamados colorantes azo sulfonatados (Arango-Ruíz et al. 2009).

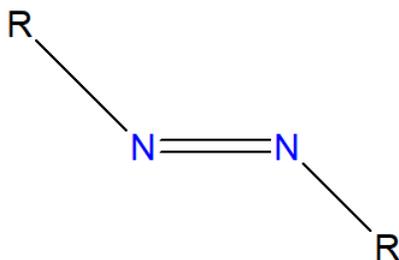


Figura 2. Grupo cromóforo Azo. Elaboración propia basado en Orozco, 2018.

Los colorantes azo son de los colorantes mayormente usados, constituyen el 60% de los tintes que se fabrican (Kuhad, 2004). Su preparación se lleva a cabo en dos diferentes pasos:

1. Conversión primaria de aminas aromáticas en componente diazonio por tratamiento con nitrato de sodio en exceso de ácido clorhídrico.
2. Acoplamiento de los componentes del diazonio con fenoles, naftalenos u otras aminas aromáticas. El acoplamiento de fenoles y naftalenos se realiza en solución básica mientras que con aminas se realiza con soluciones ácidas.

Las reacciones se llevan a cabo en temperaturas bajas (0-5°) dado que los componentes del diazonio son usualmente inestables. En los colorantes obtenidos, un sistema aromático unido al grupo azo es el cromóforo, y el grupo hidroxilo amino es un auxiliar (Iqbal, 2008).

Su amplia utilización se debe a que ofrecen una amplia gama de colores (rojo, azul, naranja, negro, amarillo) (Figura 3), presentan una alta estabilidad y un porcentaje de fijación mayor al 98% sobre diferentes fibras tales como poliéster, algodón, nylon, lana y seda, son persistentes en condiciones aerobias debido a que el oxígeno es un aceptor de electrones efectivo, por el contrario, en condiciones anaerobias, este tipo de colorantes son reducidos aún a tasas de reacción bajas, especialmente con colorantes de alta polaridad o estructura complicada, tal como los azo sulfonados. No obstante, el problema al aplicar condiciones anaerobias, son los largos tiempos de retención hidráulica en los reactores para poder lograr un alto grado de degradación del colorante, lo que implica administrar de manera continua un mediador redox, que usualmente son enzimas. (Bernal et al. 2017).



Figura 3. Colorantes azoicos utilizados en la industria (Micro Industrial, 2018)

Industria textil

Según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, la industria textil se delimita a la preparación e hilado de fibras textiles, y a la fabricación de hilos y telas. En la República Mexicana, los tres estados con mayor producción nacional de la Industria Textil son el Edo. de México (22.4%), Puebla (16.9%) e Hidalgo (12.6%) (INEGI, 2020). La producción anual de textiles en 2017 fue cerca de 800 mil toneladas (Ong, 2020).

Dentro del proceso de elaboración industrial, previo a la etapa de teñido, se tiene al desengomado, mercerizado, descruce, y blanqueo, que preparan a la fibra para una adecuada tinción: confieren una mayor resistencia tensil y consiguen la remoción de componentes que reducen la afinidad de los colorantes sobre la tela (Angulo, 2004). Durante estos procesos se emplean soluciones alcalinas y detergentes. Ya en la etapa de teñido, los tejidos se mezclan con los colorantes y sustancias auxiliares en la fijación covalente de los mismos. En cada operación, las telas son enjuagadas con agua y ácidos débiles para retirarles dichas sustancias químicas, así como los colorantes que no consiguieron impregnarse en las fibras. Es de esta manera que los efluentes de producción de textiles se componen de aguas con valores de pH de 9.8 a 11.8, y altas concentraciones de sales y colorantes (Seyedi *et al.*, 2020).

Impactos

Ambiental

Cuando los efluentes textiles con colorantes son liberados a cuerpos de agua, alteran el equilibrio de la vida que los habita, particularmente en el desarrollo de organismos fotótrofos, como fitoplancton y plantas acuáticas, debido a que reducen la intensidad de luz disponible (Seyedi *et al.*, 2020). Los efluentes de las industrias textiles tienen características corrosivas, mal olor, disminución de oxígeno disuelto en agua y aumento de materiales insolubles en agua. Al mezclarse con cuerpos de agua dulce la alteran volviéndola inadecuada para consumo humano y riego (Bhatia *et al.*, 2017) (Figura 4).



Figura 4. Agua residual de industria textil (Agua, 2019)

Salud humana

Se ha descubierto que, aunque la mayoría de los colorantes azoicos no son tóxicos, los compuestos de la degradación de estos sí lo son (Dahiya et al, 2020). Se han identificado compuestos potencialmente tóxicos, cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos relacionados con estos colorantes (Deniz y Yildiz, 2019). De hecho, existen reportes que relacionan a los colorantes azoicos con cáncer de vejiga, bazo e hígado y con deformaciones en los cromosomas de mamíferos (Chung y Chen, 2009).

Métodos químicos-físicos

Los métodos físico-químicos en el tratamiento de efluentes de colorantes se caracterizan por ser costosos, producir gran cantidad de lodos y sustancias recalcitrantes. Además, con su uso se forman productos tóxicos que presentan problemas de eliminación. Los tratamientos biológicos presentan ventajas frente a los fisicoquímicos tales como bajos costos y poca perturbación al medio ambiente (Abraham et al., 2003).

La aplicabilidad de estos métodos depende de diversos factores de la composición química de los colorantes a tratar, los costos de operación y el destino ambiental de los productos generados. Entre las técnicas empleadas podemos mencionar la adsorción, la filtración por membrana, la oxidación química, la oxidación electroquímica y la floculación o coagulación. Sin embargo, como ya se mencionó, estos métodos están sujetos a diversas desventajas como el costo de los productos químicos implicados, la necesidad de realizar ajustes previos al medio, productos residuales altamente concentrados o de eliminación de los lodos acumulados (Saratale et al, 2019).

Métodos biológicos

El uso de microorganismos o enzimas en el tratamiento de colorantes en efluentes industriales conlleva ventajas importantes con respecto a los métodos fisicoquímicos ya que son respetuosos con el medio ambiente, competitivos en costos y producen menos lodos además, permiten obtener productos finales no tóxicos con mineralización completa.

Las biotecnologías de remoción de colorantes involucran una operación previa a la liberación del agua residual industrial, en la cual se utiliza un biorreactor de tratamiento con cultivos microbiológicos mixtos o axénicos, de naturaleza fungal o bacteriana, que sean capaces de adsorber al pigmento (biosorción) o de romper el grupo funcional de la molécula (biodegradación). Sin embargo, las bacterias son los microorganismos que efectúan la degradación y mineralización más rápida de colorantes azoicos con respecto a otros. También se han desarrollado procesos de remediación enzimática (métodos enzimáticos), con proteínas catalíticas provenientes de estos sistemas celulares (Kandelbauer, 2005).

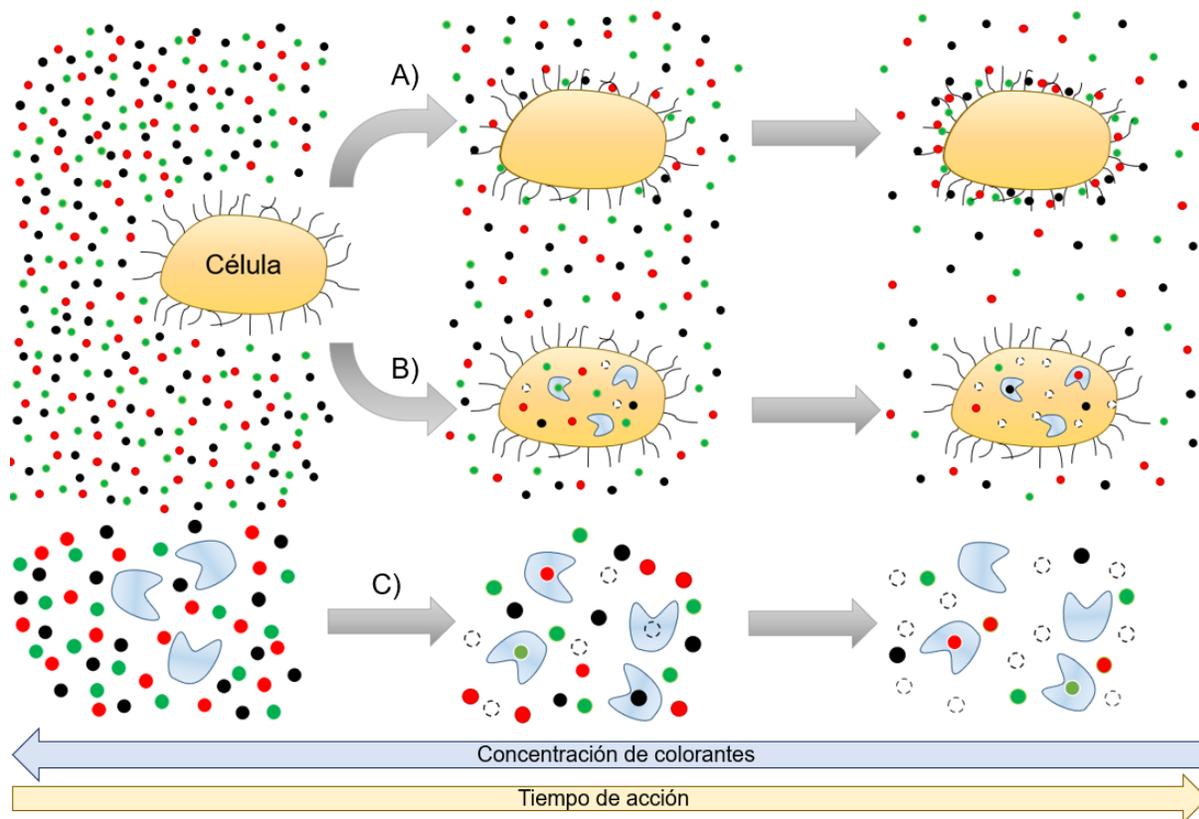


Figura 5. Métodos microbiológicos de remoción de colorantes. A) Biosorción. B) Degradación microbiana anaerobia/aerobia. C) Método enzimático. Cada punto de color representa un colorante. Elaboración propia.

En la figura 5 se sintetizan los tres métodos de remoción de tintes mediante el uso de microorganismos. Primero se encuentra la biosorción, en la cual se aprovecha la propiedad de la biomasa microbiana para atraer en su superficie a las moléculas del tinte. Presenta limitaciones de escalabilidad, por problemas de aplicación, que involucran la limitación de adsorción con la saturación de las membranas, y la eliminación de la biomasa con colorantes resultante del proceso (Kuhad, 2004).

La biodegradación de colorantes azoicos presenta múltiples ventajas entre ellas el bajo costo y que la mineralización completa produce compuestos no tóxicos. Se emplean tanto métodos aerobios como anaerobios para la biorremediación de colorante azoicos. El proceso anaeróbico lleva a cabo la decoloración completa de dichos colorantes sin embargo, presenta como desventaja la producción de aminas aromáticas potencialmente mutagénicas y cancerígenas, por ello, el proceso aeróbico se considera el más seguro (Abraham et al., 2003). Además, la degradación anaeróbica requiere de fuentes orgánicas complejas, como por ejemplo peptona, extracto de levadura o combinación de carbohidratos y fuentes orgánicas complejas (Saratale et al, 2019).

Las cepas decolorantes a parte de ser capaces de inactivar a los tintes, deben ser aptas para sobrevivir en las condiciones extremas de las aguas residuales, por lo que se suelen aislar de estos ambientes (Kuhad, 2004). Aunque la mayoría de las bacterias empleadas con estos fines son aisladas de suelos previamente contaminados por la industria textil, también se han encontrado bacterias con capacidad potencial de degradación de colorantes en otras fuentes, como aquellas provenientes del proceso de obtención de carbón activado (Saratale et al, 2019).

Como se mencionó, la decoloración biológica de los tintes azoicos implica la rotura del enlace (-N=N-) (Dos Santos, 2005). Cuando ocurre mediante la acción de un solo microorganismo de metabolismo anaeróbico, los colorantes se degradan por procesos de reducción, generando como productos aminas aromáticas incoloras; si bien, ya no interfieren en la absorción de la luz disponible, son compuestos tóxicos (Stellman, 1998).

Cuando se maneja un consorcio de diferentes especies, las cepas participan en la degradación y mineralización del colorante de manera sinérgica, donde cada microorganismo transforma a las moléculas haciéndolas bioasimilables para otros microorganismos. Así, las aminas aromáticas pueden transformarse en sales minerales a través de enzimas, con actividad hidroxilasa y de fisión del anillo aromático (González, 2009), pertenecientes a microorganismos que utilizan el oxígeno, tales como los aerobios y los microaerófilos.

El empleo de cultivos mixtos resulta en la degradación completa del compuesto xenobiótico, generando como metabolitos finales al amoníaco, agua y dióxido de carbono (Kandelbauer, 2005).

En el modo de operación de lote discontinuo periódico (PDBR) se pueden propiciar los ambientes que permiten la biodegradación y mineralización de los colorantes azo, mediante la inducción de microambientes anaerobios y aerobios (Nagendranatha, 2017).

El enfoque enzimático es considerado una opción alternativa eficaz para tratar aguas residuales que contienen colorantes frente a los tratamientos fisicoquímicos convencionales. Los métodos enzimáticos utilizan solo a las enzimas del metabolismo de los microorganismos que participan en la degradación de los colorantes.

Las enzimas llevan a cabo la escisión y degradación sucesiva del colorante de manera eficiente y aumentan esa efectividad cuando las moléculas de colorante se encuentran en concentraciones más altas con respecto a otros contaminantes del efluente (Saratale et al, 2019). De igual forma, la efectividad de los catalizadores biológicos dependerá de la presencia de cofactores, intermediarios e inhibidores en el medio. Las enzimas más importantes empleadas en la biodegradación de colorantes azoicos son las azoreductasas, lacasas y peroxidasas.

Azoreductasas

Las azoreductasas son flavoproteínas en estructuras muy diversas, de naturaleza citoplasmáticas y extracelulares. En su totalidad se expresan constitutivamente; sin embargo, se han encontrado inducidas en presencia de colorante (Orozco, 2018). Estas enzimas se encargan de la segmentación de los enlaces azo ($-N = N-$) en presencia de FADH o NADH o NADPH como donante de electrones (Russ et al. 2000), lo que produce aminas aromáticas incoloras que al degradarse producen CO_2 y H_2O bajo condiciones aerobias (Orozco, 2018). La actividad de la enzima azoreductasa citoplasmática e intracelular está implicada en la decoloración de los colorantes azoicos ya que, debido a las altas polaridades y la estructura compleja de estos, es difícil difundirlos a través de la membrana celular.

Lacasas

Son enzimas que degradan colorantes ligados a Cu^{2+} que catalizan la oxidación de colorantes con compuestos aromáticos. Estas enzimas son mayormente extracelulares y a diferencias de otras enzimas decoloran y degradan sin producir aminas aromáticas. Las lacasas degradan los colorantes azo por medio de un radical libre con los cuales conforman compuestos fenólicos y de esta forma evitar la formación de aminas aromáticas. Este mecanismo se da por la oxidación de su grupo fenólico el cual contiene los enlaces azo (Orozco, 2018).

Mn Peroxidasas

Las principales enzimas degradadoras de los colorantes azo, las cuales los degradan a través de la oxidación de H_2O_2 a un compuesto intermedio el cual es promovido por la

oxidación de Mn^{2+} a Mn^{3+} . Y al igual que las lacasas no producen aminas aromáticas (Orozco, 2018).

Conclusión

Para aprovechar a los microorganismos que llevan a cabo la degradación de estos compuestos químicos no sólo es necesario comprender los procesos degradativos desde la perspectiva química o microbiológica, sino que se requiere aplicar dichos conocimientos en el escalamiento de procesos industriales. Se desconocen aún los mecanismos mediante los que se lleva a cabo la degradación biológica de los colorantes azoicos lo que limita el diseño de biorreactores destinados a dicho fin. También es necesario diseñar estrategias que combinen los tratamientos físicoquímicos con los biológicos con la intención de mineralizar en su totalidad a los colorantes azoicos. La tecnología del ADN recombinante, representa una oportunidad de obtener cepas recombinantes mejoradas capaces de degradar dichos compuestos eficientemente. Otro factor importante a considerar es el uso de fuentes renovables de desechos agrícolas como sustrato para el cultivo de microorganismos involucrados en la degradación de colorantes, debido a que representan fuentes complejas, ecológicas, de bajo costo y disponibilidad global.

Agradecimientos

Agradecemos a la institución de la que somos miembros por su compromiso con nuestra educación y desarrollo. De igual forma, expresamos nuestra gratitud hacia el Dr. Enrique González por todas las herramientas que hizo de nuestro conocimiento así como por la guía y los consejos que nos proporcionó a lo largo de la elaboración de este artículo.

Los autores declaramos que no hay conflicto de intereses

Referencias

- Abraham, T.E., Senan, R.C., Shaffiqu, T.S., Roy, J.J., Poulouse, T.P., & Thomas, P.P. (2003). Bioremediation of textile azo dyes by the anaerobic bacterial consortium using a rotating biological contactor. *Biotechnology Progress*, 19(4), 1372–1376. <https://doi.org/10.1021/bp034062f>
- Agua. (2019). Nuestra ropa, también consume agua y la contamina. [Figura] . Recuperado de <https://agua.org.mx/actualidad/nuestra-ropa-tambien-consume-agua-y-la-contamina/>
- Angulo-Luna, M.A. (2004). Análisis del cluster textil en el Perú. [Tesina, UNMSM] <https://bit.ly/36gr5r1>
- Arango-Ruíz, Á., & Garcés-Giraldo, L.F. (2009). Remoción del colorante azoico amaranto de soluciones acuosas mediante electrocoagulación. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(2), 31-38.
- Bernal, L.A., Hernández, M.K., Berber, M.S., Martínez, M.E., Delgado, R.D., & Espinosa, M.Á. (2017). Remoción Del Colorante Compuesto Naranja Remazol De Aguas Residuales Generadas En La Industria Textil. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 51-57.
- Bhatia, D., Sharma, N.R., Singh, J., & Kanwar, R.S. (2017). Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review. *Critical Reviews In Environmental Science And Technology*, 47(19), 1836–1876. doi:10.1080/10643389.2017.1393263
- Chung, Y.C., & Chen, C.Y. (2009). Degradation of azo dye reactive violet 5 by TiO₂ photocatalysis. *Environ. Chem. Lett.*, 7, 347
- Cole, J. (2019) El teñido de tejidos: el mayor problema de contaminación de la industria de la moda. [Figura]. Recuperado de <https://www.vogue.es/moda/articulos/tintes-toxicos-ropa-problemas-contaminacion-industria-moda>
- Corcoran, E., Nelleman, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. *United Nations Environment Programme*. <https://bit.ly/3elyqDq>
- Cortazar-Martínez, A., González-Ramírez, C.A., Coronel-Olivares, C., Escalante-Lozada, J. A., Castro-Rosas, J. & Villagómez-Ibarra, J.R. (2012). Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la Industria Textil. *Universidad y Ciencia: Trópico húmedo*, 28(2), 187-199.
- Dahiya, D., & Nigam, P.S. (2020). Waste Management by Biological Approach Employing Natural Substrates and Microbial Agents for the Remediation of Dyes' Wastewater. *Applied Sciences*, 10(8), 2958. doi:10.3390/app10082958

- Deniz, F., & Yildiz, H. (2019) Bioremediation potential of a widespread industrial biowaste as renewable and sustainable biosorbent for synthetic dye pollution, *International Journal of Phytoremediation*, 21:3, 259-267, DOI: 10.1080/15226514.2018.1524451
- Dos Santos, A.B., Traverse, J., Cervantes, F.J., & Van Lier, J.B. (2005). Enhancing the electron transfer capacity and subsequent color removal in bioreactors by applying thermophilic anaerobic treatment and redox mediators. *Biotechnol. Bioeng.* 89, 42-52.
- Fernández, J.A., Henao, L.M., Pedroza-Rodríguez, A.M., & Quevedo-Hidalgo, B. (2009). Inmovilización de hongos ligninolíticos para la remoción del colorante negro reactivo 5. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1), 59-72.
- Flórez, M., Quiroz, M., Jaramillo, M., & Medina, S. (2018). Potencial de biorremediación del Colorante Negro Azoico por Levadura Inmovilizada en Gelatina y Estudio Teórico de la Interacción Levadura-Colorante. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 30-38.
- González-Echavarría, L., Fontalvo-Silva, M., Álvarez-López, C., Restrepo-Osorio, A. (2014). Generalidades de la seda y su proceso de teñido. *Prospect*, 12(1), 7-14. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i1.145>
- González-Gutiérrez, L.V., González-Alatorre, G., & Escamilla-Silva, E.M. (2009). Proposed pathways for the reduction of a reactive azo dye in an anaerobic fixed bed reactor. *World J Microbiol Biotechnol*, 25, 415–426. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9906-0>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Ed.) (2020). *Colección de estudios sectoriales y regionales: Conociendo la Industria textil y de la confección*. INEGI. <https://bit.ly/32oRD8n>
- Kandelbauer, A., Guebitz, G.M. (2005). Bioremediation for the Decolorization of Textile Dyes — A Review. In: E. Lichtfouse, J. Schwarzbauer, D. Robert, (Eds), *Environmental Chemistry*. (pp. 269-288). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-26531-7_26
- Kuhad, R.C., Sood, N, Tripathi, K.K., Singh, A., & Ward, O.P. (2004). Developments in Microbial Methods for the Treatment of Dye Effluents. *Adv. Appl. Microbiol.*, 56, 185-213
- Micro Industrial. [@umh1399] (03 de mayo, 2018). En los colorantes azoicos han sido ampliamente usados en industria textil. [Tuit] [Figura]. Twitter. Recuperado de <https://twitter.com/umh1399/status/992030462947287040?lang=ca>
- Nagendranatha-Reddy, C., Naresh-Kumar, A., & Venkata-Mohan, S. (2017). Metabolic phasing of anoxic-PDBR for high rate treatment of azo dye wastewater. *J. Hazard. Mater*, 343, 49-58.
- Ong, C., Leea, K., & Chang, Y. (2020). Biodegradation of mono azo dye-Reactive Orange 16 by acclimatizing biomass systems under an integrated anoxic-aerobic REACT sequencing batch moving bed biofilm reactor. *Journal Of Water Process Engineering*, 36, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101268>

- Orozco, R. (2018). Degradación de colorante azul directo por consorcios bacterianos aislados de un efluente textil. Tesis de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Russ, R., Rau, J., & Stolz, A. (2000). The function of cytoplasmic flavin reductases in the reduction of azo dyes by bacteria. *Applied and environmental microbiology*, 66(4), 1429–1434. <https://doi.org/10.1128/aem.66.4.1429-1434.2000>
- Sadat-Seyedi, Z., Zahraei, Z., & Jookar-Kashi, F. (2020). Decolorization of Reactive Black 5 and Reactive Red 152 Azo Dyes by New Haloalkaliphilic Bacteria Isolated from the Textile Wastewater. *Curr Microbiol*, 77, 2084–2092. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02039-7>
- Saratale, R. G., Rajesh Banu, J., Shin, H.-S., Bharagava, R. N., & Saratale, G. D. (2019). Textile Industry Wastewaters as Major Sources of Environmental Contamination: Bioremediation Approaches for Its Degradation and Detoxification. *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*, 135–167. doi:10.1007/978-981-13-1891-7_7
- Stellman, J.M., Osinsky, D., & Markkanen, P. (1998). Guía de Productos Químicos. In D. Osinsky, (Ed), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. (pp. 104.5-104.120). Chantal Dufresne, BA.
- Wang, W., Huang, G., An, C., Xin, X., Zhang, Y., & Liu, X. (2017). Transport behaviors of anionic azo dyes at interface between surfactant-modified flax shives and aqueous solution: Synchrotron infrared and adsorption studies. *Applied Surface Science*, 405, 119–128. doi:10.1016/j.apsusc.2017.01.311