

Sistema Secuencial Anaerobio-Aerobio Para La Biodegradación De Colorantes Textiles

José Carlos Mendoza Hernández

Ingeniería Ambiental
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México
Josecarlos.mendozahdez@gmail.com

María Eugenia Ortega Sánchez

Ingeniería Química
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México
maru.ing.quimica@gmail.com

Gabriela Pérez Osorio

Ingeniería Ambiental
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México
Gabriela.perez@correo.buap.mx

Janette Arriola Morales

Ingeniería Ambiental
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México
Janette.arriola@correo.buap.mx

Maribel Castillo Morales

Ingeniería Ambiental
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México
Maribel.castillo@correo.buap.mx

Octavio Olivares Xometl

Ingeniería Química
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México
oxoctavio@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los sistemas secuenciales anaeróbico-aeróbico han mostrado tener una buena efectividad para la biodegradación de colorantes del tipo azo y antraquinónico, mediante el uso de consorcios microbianos. En este trabajo se logró obtener un 95.24% de biodegradación del colorante azul 86 de tipo antraquinónico mediante los consorcios microbianos C1 (Clostridium cochlearium, Enterobacter hormaechei Cp3, Enterobacter aerogenes Cp12), y C2 (Serratia marcescens, Enterobacter hormaechei Cp5, Enterobacter aerogenes Cp13), con una cinética de orden de reacción de tipo 0 que depende únicamente del tiempo y sin presentar toxicidad aguda medida mediante un ensayo de toxicidad con Daphnia magna, por lo que estos consorcios pueden ser usados para la biodegradación de estos tipos de colorantes.

Keywords—component; colorantes textiles, anaeróbico, aeróbico.

I. INTRODUCCIÓN

La industria textil es una de las industrias más importantes en México, pero en sus procesos consume grandes cantidades de agua, y por ende es una de las industrias más contaminantes [1]. La coloración del agua por los colorantes afecta disminuyendo la cantidad de luz solar que entra y afecta considerablemente el crecimiento de la biota, el pH, la fotosíntesis, el oxígeno disuelto, la solubilidad de los diferentes gases [2]. Se ha documentado ampliamente que los colorantes textiles tienen un efecto tóxico tanto biológica como genéticamente en los diferentes organismos como bacterias, hongos,

protozoos, peces, plantas y mamíferos [3]. Estos colorantes son compuestos recalcitrantes por lo que es difícil su tratamiento. Dentro de los tratamientos propuestos están los métodos fisicoquímicos y los métodos biológicos, estos último mediante el uso de microorganismos que comprenden hongos y bacterias. En los procesos biológicos de degradación se han utilizado diferentes tipos de hongos como Candida, Rhizopus, Aspergillus, Penicillium, Trametes y bacterias entre los que se incluyen los géneros de Bacillus, Pseudomonas, Escherichia, Agrobacterium, Serratia, Klebsiella [2,4,5,6]

Una de las ventajas del uso de los métodos microbiológicos es que son amigables con el medio ambiente y tienen un beneficio costo-efectividad, además de que a parte del proceso de decoloración de los colorantes también existe la biodegradación y eliminación de la toxicidad de los productos finales [2].

II. METODOLOGÍA

Cepas: Las cepas usadas Clostridium cochlearium, Enterobacter hormaechei Cp3, Enterobacter aerogenes Cp12, Serratia marcescens, Enterobacter hormaechei Cp5, Enterobacter aerogenes Cp13, Enterobacter hormaechei Cp16 fueron aisladas de sitios contaminados por hidrocarburos [7] y la cepa Serratia k120 fue aislada de jales de minas [8].

Inóculo bacteriano: las diferentes cepas se crecieron en caldo Luria Bertani durante 72 h, con agitación orbital a 80 rpm. Posteriormente fueron separadas por centrifugación a 11 000 rpm durante 20 minutos, para obtener un peso de 4g de cada cepa. Las cepas fueron unidas en consorcios microbianos colocando 1g de cada cepa correspondiente:

Consortio1 (*Clostridium cochlearium*, *Enterobacter hormaechei* Cp3, *Enterobacter aerogenes* Cp12), Consortio 2 (*Serratia marcescens*, *Enterobacter hormaechei* Cp5, *Enterobacter aerogenes* Cp13) y Consortio 3 (*Serratia k120*, *Enterobacter hormaechei* Cp16, *Enterobacter aerogenes* Cp13).

Sistema Anaeróbico: En 50mL de medio mínimo mineral conteniendo 50 ppm del colorante azul 86 y 1g del consorcio microbiano C1, éste se incubó en condiciones de anaerobiosis durante 5 días a 30°C. Cada 24 h se tomó una alícuota de 3 ml se centrifugó a 11 000 rpm durante 10 minutos y al sobrenadante se realizó una lectura en un espectrofotómetro UV/Vis a 525 nm.

Sistema aeróbico: En 50 mL medio mínimo mineral conteniendo 50 ppm del colorante comercial azul 86 y 1g del consorcio microbiano C2 o C3 según corresponda y se incubó durante 5 días a 30°C, 80 rpm. Cada 24 h se tomó una alícuota de 3 ml se centrifugó a 11 000 rpm durante 10 minutos y al sobrenadante se realizó una lectura en un espectrofotómetro UV/Vis a 525 nm.

Sistema anaeróbico-aeróbico: En 50mL de medio mínimo mineral conteniendo 50 ppm del colorante azul 86 y 1g del consorcio microbiano C1 se incubó en condiciones de anaerobiosis durante 48 h a 30°C. Cada 24 h se tomó un inóculo de 3 ml se centrifugó a 11 000 rpm durante 10 minutos y al sobrenadante se realizó una lectura a 525 nm. Una vez transcurridas las 48h el contenido se centrifugó a 11 000 rpm durante 20 minutos, al sobrenadante se le agregó 1g del consorcio C2 o C3 según correspondiera y se incubó durante 3 días a 30°C, 80 rpm. Cada 24 h se tomó una alícuota de 3 mL se centrifugó a 11 000 rpm durante 10 minutos y al sobrenadante se realizó una lectura en un espectrofotómetro UV/Vis a 525 nm.

Cinética de degradación

En la cinética de degradación se determina la velocidad de la reacción química y los factores de los cuales depende dicha reacción durante la biodegradación del colorante azul 86, además de determinar la constante de reacción mediante las ecuaciones 1 a 3 que se muestran a continuación [9].

$$C_T = C_0 - k_0 t \quad (1)$$

$$C_T = C_0 e^{-k_1 t} \quad (2)$$

$$C_T^{-1} = C_0^{-1} + k_2 t \quad (3)$$

Donde CT es la concentración del colorante a determinado tiempo en ppm; C0 es la concentración inicial del colorante en ppm; k0 es la constante de grado 0 durante la degradación, en ppm/h; k1 es la constante de grado 1 durante la degradación, en (h⁻¹) y k2 es la constante de grado 2 durante la degradación, en ppm/h.

Para la determinación del grado de la constante cinética (k) en la degradación de los tres colorantes, los datos obtenidos experimentalmente se presentan en la Tabla 2. Para la constante de grado 0 (k0), se consideró la concentración contra el tiempo, para la constante de grado 1 (k1), el logaritmo natural de la concentración contra el tiempo para la constante de

grado 2 (k2), el inverso de la concentración contra el tiempo; posteriormente se calculó el coeficiente de correlación (R2) de los datos tabulados, así como la pendiente (m) y la ordenada al origen (b).

Ensayo de toxicidad aguda con *Daphnia magna*

El ensayo de toxicidad aguda de los productos de degradación de los tres colorantes, obtenidos al final del sistema de tratamiento combinado, se realizó siguiendo la metodología establecida en la norma oficial mexicana NMX-087-SCFI-2010. Se prepararon diluciones de 100, 50, 25, 12.5 y 6.25% de las muestras obtenidas una vez finalizada la biodegradación bacteriana, utilizando como medio de dilución agua reconstituida. Cada litro de agua reconstituida se preparó con 25 mL de soluciones de cloruro de calcio dihidratado (11.76 g), sulfato de magnesio pentahidratado (4.93 g), bicarbonato de sodio (2.59 g) y cloruro de potasio (0.23 g), todas ellas aforadas a un litro.

En cada recipiente de prueba se colocaron 30 mL de cada una de las diluciones preparadas y se introdujeron 10 neonatos de menos de 24 horas de edad. El ensayo se realizó por triplicado para cada dilución. Adicionalmente, se preparó un control positivo y un control negativo para verificar la sensibilidad y el adecuado estado de salud de los organismos prueba, respectivamente. La exposición de los organismos de referencia es de 48 horas, realizándose lecturas para la prueba exploratoria, a las 24 horas y para la prueba definitiva a las 48 horas. Estas lecturas consisten en verificar la presencia o ausencia de movimiento en los organismos de referencia.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bacterias han sido ampliamente usadas para la degradación o biotransformación de colorantes del tipo azo [10] y del tipo antraquinónico [11] de manera aislada, sin embargo, se ha demostrado que los consorcios microbianos tienen una mayor efectividad [10]. En este trabajo se consideró la degradación del colorante de tipo antraquinónico azul 86 mediante consorcios microbianos con un sistema combinado anaeróbico-aeróbico. En el análisis de la degradación del colorante azul 86 con una concentración de 50 mgL⁻¹ mediante un sistema aerobio, anaerobio y combinado anaerobio-aerobio con los consorcios microbianos C1, C2 y C3 podemos observar que el sistema anaerobio presentó la mayor concentración después de los 5 días usando el consorcio C1 con 20.78 mgL⁻¹ que corresponde al sistema anaerobio, en orden descendiente le siguen los sistemas aeróbicos C3 con 15.48 mgL⁻¹, C2 con 11.45 mgL⁻¹ y finalmente los sistemas combinados anaeróbico C1-C3 y C1-C2 con una concentración de 4.49 mgL⁻¹ y 2.37 mgL⁻¹ respectivamente, como se puede observar en la Figura 1. Esta efectividad en el uso de los sistemas combinados coincide con lo reportado por

Ong et. al [12]; Ravadelli et. al [13]; Hosseini et. al [14]; donde los biorreactores secuenciales anaeróbico-aeróbico incrementan la efectividad de la

biodegradación de los colorantes de tipo azo y antraquinónicos.

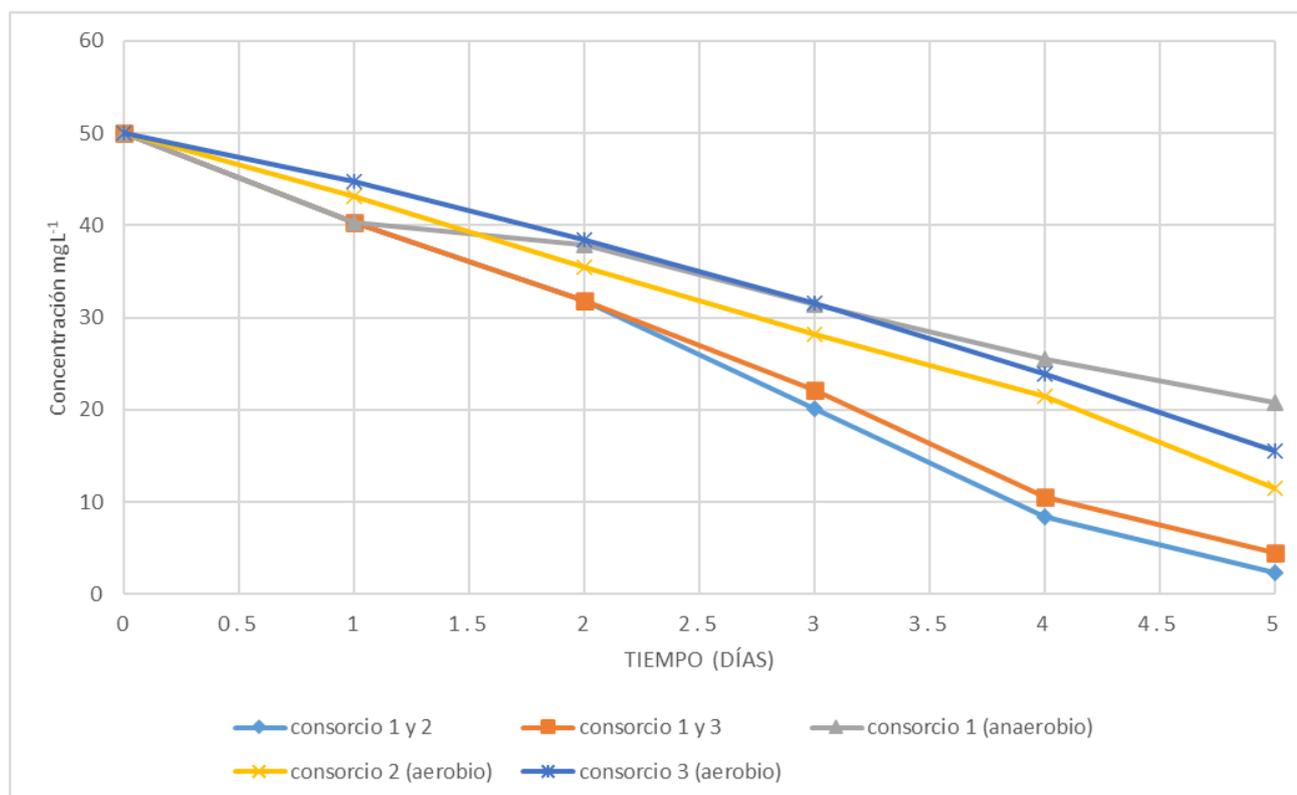


Figura1. Concentración en la biodegradación del colorante azul 86 con los consorcios microbianos en el sistema anaerobio-aerobio.

Para el porcentaje de biodegradación del colorante azul 86 mediante los sistemas anaerobio, aerobio y anaerobio-aerobio, se logró obtener un 58.44% para el consorcio anaerobio C1, 69.04% para el consorcio aerobio C3, 77.10% para el consorcio aerobio C2, 91.02% para el consorcio anaerobio-aerobio C1-C3 y un 95.24% para el sistema anaerobio-aerobio con los consorcios C1-C2, lo que establece un buen porcentaje de biodegradación como se puede observar en la figura2. Los porcentajes elevados de

biodegradación del colorante azul 86 de tipo antraquinónico mediante el sistema secuencial anaeróbico-aeróbico coincide con los reportado por Alan et. al. 2021 en donde obtuvieron una biodegradación del 97% del colorante azul reactivo 4; Ong et. al [12] con una biodegradación del 97% en naranja reactivo 16; Santhanam et. al. [15] una degradación del 90% en efluentes textiles; Hosseini et. al 2013 con el colorante rojo ácido con 78% de biodegradación; Singh et. al 2006 con una biodegradación de 97% en rojo ácido 88.

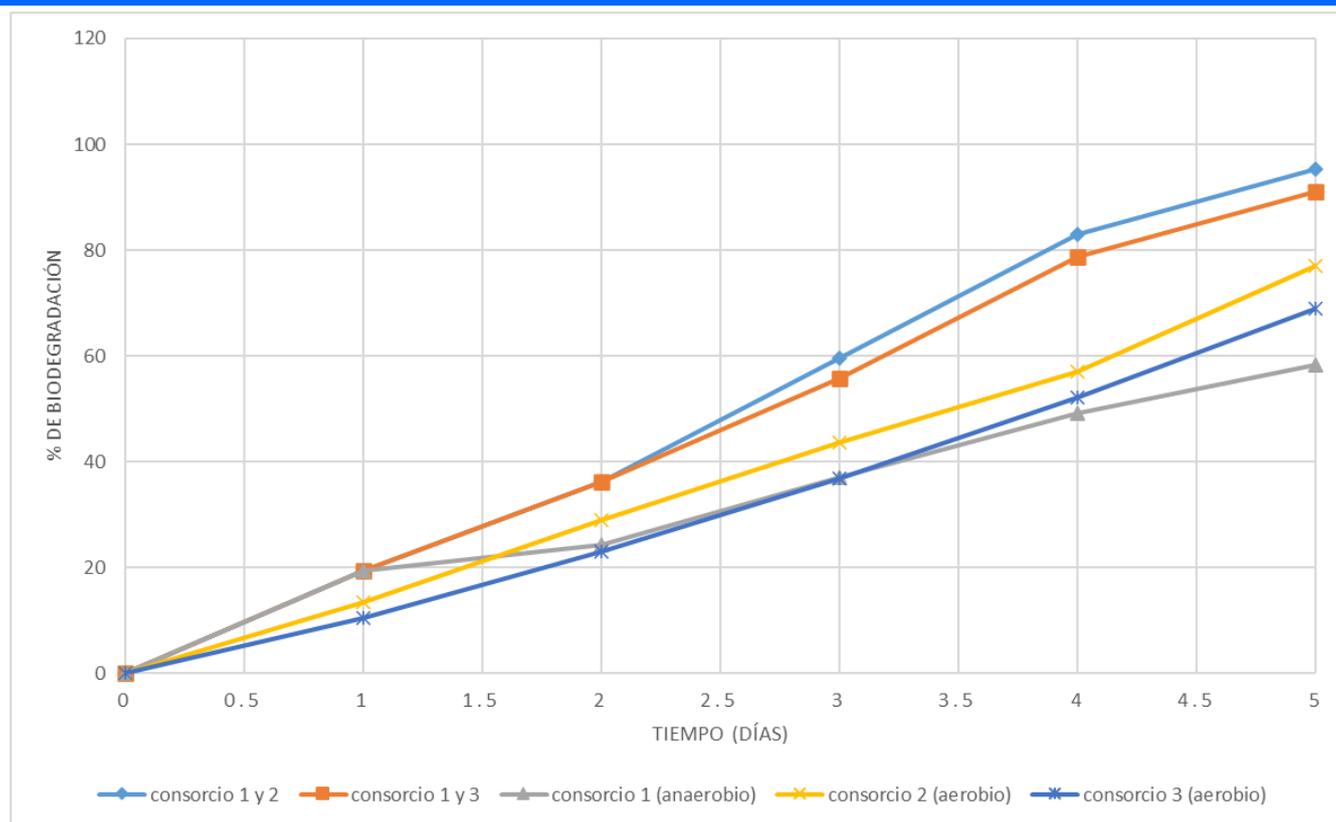


Figura 2. Porcentaje de biodegradación del colorante azul marino con los consorcios microbianos en el sistema anaerobio-aerobio.

En la determinación de la cinética de biodegradación para ambos consorcios los coeficientes de correlación de 0.9942 para el consorcio 1 y 2, y de 0.9895 para el consorcio 1 y 3 corresponden a una cinética de orden 0 es decir que la biodegradación depende del tiempo como se puede observar en la tabla1, coincidiendo con lo reportado por Kumar et. al 2020 donde la cinética es de orden 0 dependiendo del tiempo, difiriendo por lo reportado por Azizi et al. [9], donde la cinética es del orden 1 es decir depende de la concentración del colorante.

Tabla1. Parámetros cinéticos de biodegradación

	k_0	R^2	k_1	R^2	k_2	R^2
Consorcio 1 y 2	-0.4110	0.9942	-0.0242	0.8826	0.0027	0.4684
Consorcio 1 y 3	0.4042	0.9895	-0.01995	0.9177	0.0015	0.5117

Toxicidad Aguda. Los resultados obtenidos en el sistema con *Daphnia magna* indican que no existe una toxicidad aguda, por lo que durante el proceso de biodegradación del colorante azul 86 no se produjo metabolitos secundarios que sean tóxicos, esto es importante porque no se producen metabolitos secundarios que sean tóxicos durante el proceso de biodegradación [10] (Solis et. al. 2012) y este efluente pueda ser usado para sistemas de riego.

IV. CONCLUSIONES

El sistema microbiológico anaerobio-aerobio resultó ser un proceso biotecnológico eficaz en la biodegradación del colorante azul 86 al eliminar más del 90% de este, por lo que podría ser usado para la eliminación de colorantes en el agua residual textil, sin la producción de metabolitos secundarios tóxicos.

REFERENCIAS

- [1] Rajasimmana M., Babub V., Rajamohan N. Biodegradation of textile dyeing industry wastewater using modified anaerobic sequential batch reactor – Start-up, parameter optimization and performance analysis. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2017. 72: 171-181.
- [2] M-Ridha M.J., Hussein S.I., Alismaeel Z. T., Mohammed A. A., Aziz G.M. Biodegradation of reactive dyes by some bacteria using response surface methodology as an optimization technique. Alexandria Engineering Journal.2020. 59:3551–3563.
- [3] Malachova K., Rybkova Z., Sezimova H., Cerven J., Novotny C. Biodegradation and detoxification potential of rotating biological contactor (RBC) with *Irpex lacteus* for remediation of dye-containing wastewater. water research 47. 2013.7143-7148.

- [4] Parimita B. S., Tank S. K. Microbial degradation of Procion Red by *Pseudomonas stutzeri*. Scientific Reports.2021.11:3075-3087.
- [5] El-Rahim W.M.A., Moawad H., Ahmed Z. A.A., Sadowsky M.J. Biodegradation of azo dyes by bacterial or fungal consortium and identification of the biodegradation products. Egyptian Journal of Aquatic Research 2021.47:269–276.
- [6] Kolekar Y.M., Nemade H.N., Markad V.L., Aday S.S., Patole M.S., Kodam K.M. Decolorization and biodegradation of azo dye, reactive blue 59 by aerobic granules. Bioresource Technology.2012.104: 818–822.
- [7] Ortega S. M.E., Castillos M. M., Arriola M. J., Pérez O. G., Mendoza H.J.C. Bioedegradación de hidrocarburos mediante bacterias productoras de biosurfactantes. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias.2018.9(21):1643 – 1656.
- [8] Mendoza Hernández, J. C., Perea Vélez, Y. S., Arriola Morales, J., Martínez Simón, S. M., & Pérez Osorio, G. (2016). Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA production on plant growth promoting bacteria. Microbiological Research, 2016.188-189, 53-61.
- [9] Azizi A, Alavi M, Maknoon R, Kowsarid E. Comparison of three combined sequencing batch reactor followed by enhanced Fenton process for an azo dye degradation: Bio-decolorization kinetics study. Journal of Hazardous Materials 2015.299: 343-350.
- [10] Solís M., Solís A., Pérez H.I., Manjarrez N., Flores M. Microbial decolouration of azo dyes: A review. Process Biochemistry.2012.47:1723–1748.
- [11] Alam R., Ardiati F.C., Solihat N.N., Alam M.B., Han L.S., Dede H. Y. Y., Watanabe T., Sunghwan K. Biodegradation and metabolic pathway of anthraquinone dyes by *Trametes hirsuta* D7 immobilized in light expanded clay aggregate and cytotoxicity assessment. Journal of Hazardous Materials.2021. 405:124176.
- [12] Ong C., Lee K., Chang Y. 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.2020. 36:101268.
- [13] Ravadelli M., Da Costa R.E., Lobo-Recio M.A., Akaboci T.T.V., Bassin J.P., Lapolli F.R., Belli T.J. Anoxic/oxic membrane bioreactor assisted by electrocoagulation for the treatment of azo-dye containing wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering.2021. 9:105286.
- [14] Hosseini Koupaie E., Alavi M. M.R., Hashemi S.H. Evaluation of integrated anaerobic/aerobic fixed-bed sequencing batch biofilm reactor for decolorization and biodegradation of azo dye Acid Red 18: Comparison of using two types of packing media. Bioresource Technology.2013.127: 15–421.
- [15] Santhanam M., Selvaraj R., Veerasubbian V., Sundaram M. Bacterial degradation of electrochemically oxidized textile effluent: Performance of oxic, anoxic and hybrid oxic-anoxic consortium. Chemical Engineering Journal.219.355:186-195.