

Remoción de colorante negro 22 usando *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada en perlas de alginato

Daniela Andaluz¹, Lorena Cuevas¹, María Fernanda Rotter¹, Daniel Toledo², Laura Castillo^{2*}

¹ Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Anáhuac México campus Norte

² Centro de investigación en Ciencias de la Salud. Facultad de Ciencias de la Salud Universidad Anáhuac México campus Norte

* Estos autores contribuyeron de igual forma a esta investigación

*e-mail: laura.castillo@anahuac.mx

Resumen

La industria textil es considerada uno de los principales consumidores de agua durante sus procesos de producción, utiliza aproximadamente el 70% de colorantes azoicos a nivel mundial y aunque la amenaza principal empieza con el abuso de recursos naturales durante el desarrollo textil, se ha identificado como un mayor peligro ambiental, la pérdida de estos efluentes que son liberados al medio ambiente. Los colorantes al ser diseñados para ser estables a la luz, agentes químicos y condiciones de lavado, si no son adecuadamente tratados pueden permanecer en el medio ambiente por largos períodos de tiempo, con el consiguiente riesgo de bioacumularse y biomagnificarse en la cadena trófica. (Najares, 2014). Es por ello, que, mediante procesos de biorremediación, se logran desarrollar propuestas que sean simples, económicas y con un impacto ambiental mínimo. En este estudio, se utilizó colorante Negro, con el fin de evaluar la eficiencia de remoción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada en perlas de alginato. Durante esta investigación se ha comprobado que la ósmosis del colorante a través de las perlas de alginato es dependiente de la concentración del colorante, ya que esta se llega a saturar, por lo que, se identifica que la biorremediación también es dependiente de este factor y que la *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada de esta manera sirve como una gran herramienta para remover colorantes de tipo azoico. (Flórez et.al, 2018)

Palabras Claves: Negro 22, colorante azoico, biorremediación, inmovilización, remoción, *Saccharomyces cerevisiae*.

Abstract

The textile industry is considered one of the main consumers of water during its production processes, it uses approximately 70% of azo dyes worldwide and although the main threat begins with the abuse of natural resources during textile development, it has been identified as a greater environmental danger, the loss of these effluents that are released into the environment. Dyes, being designed to be stable to light, chemical agents and washing conditions, if not properly treated, can remain in the environment for long periods of time, with the consequent risk of bioaccumulating and biomagnifying in the food chain. (Najares, 2014). That is why, through bioremediation processes, it is possible to develop proposals that are simple, economical and with minimal environmental impact. In this study, Black dye was used in order to evaluate the removal efficiency from the yeast *Saccharomyces cerevisiae* immobilized in alginate beads. During this research it has been proven that the osmosis of the dye through the alginate beads is dependent on the concentration of the dye, since it becomes saturated, therefore, it is identified that the bioremediation is also dependent on this factor and that *Saccharomyces cerevisiae* immobilized in this way serves as a great tool to remove azo-type dyes. (Flórez et.al, 2018)

Key Words: Black 22, azo dye, bioremediation, immobilization, removal, *Saccharomyces cerevisiae*.

Introducción

El rápido crecimiento de las industrias ha conducido el aumento de la demanda de productos textiles, que está directamente relacionado al aumento de contaminación de agua debido a los efluentes liberados durante la confección de estos tejidos. Esta amenaza de seguridad ambiental requiere de procesos de biorremediación que brinden alternativas eficientes para tratar los residuos para así recuperar los cuerpos de agua alterados y regresarlos a su condición natural, mediante el uso de microorganismos (Banu et al., 2020).

Se conoce que entre un 2% y un 50% de colorante que no se une a las fibras durante el procesamiento textil se descarga en el medio ambiente y estos productos causan efectos tóxicos en algas, peces y crustáceos. De modo que su nivel de toxicidad aguda reduce la reproducción, la velocidad de alimentación por filtración y altera la actividad fotosintética de los sistemas acuáticos al reducir la penetración de la luz y la disponibilidad de oxígeno que es esencial para las formas de vida acuática (Najares, 2014). Es decir que la contaminación de estos colorantes no solo afecta la transparencia del agua sino la concentración de oxígeno disuelto en cuerpos de agua, lo que indica que incluso bajas concentraciones de estos efluentes tienen la capacidad de alterar notablemente la estética de los cuerpos de agua (Najares, 2014).

Los colorantes azoicos presentan uno o más grupos azo ($R_1-N = N-R_2$) y anillos aromáticos, principalmente sustituidos por grupos sulfonato. Estos colorantes son altamente utilizados en la industria textil, son compuestos xenobióticos que se caracterizan por ser resistentes, estables ante la luz y tóxicos. Esto indica una gran capacidad para tolerar un ataque fisicoquímico, por lo que se considera que, al no ser fácilmente degradados mediante métodos convencionales, un proceso biológico, puede resultar más atractivo. Sin embargo, estos procesos dependen de la adaptabilidad y la actividad enzimática de los microorganismos seleccionados y de la estructura química del colorante. Por ello es importante seleccionar el microorganismo adecuado, para tener un tratamiento exitoso (Ruscasso, 2022; Tovar et al., 2016).

Se ha reportado mediante diversos estudios, que microorganismos pertenecientes a

diferentes grupos taxonómicos de bacterias, algas, hongos y levaduras tienen la capacidad para romper los enlaces azo de los colorantes azoicos y con ello contribuir a su remoción de los mantos acuíferos (Cortazar, 2012). Sin embargo, en comparación con especies fúngicas y bacterianas, las levaduras han mostrado una mayor facilidad y fuerza para llevar a cabo este proceso de reducción y remoción. (Bulacio, 2018). La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se ha reportado como un tipo de levadura que gracias a las enzimas que expresa, entre ellas las azo reductasas, la hace capaz de remover este tipo de colorantes. Es decir, estas enzimas catalizan compuestos en presencia de varias coenzimas reductoras como $FADH_2$, $NADH$ y $NADPH$, mostrando potencial y una gran versatilidad de usos como agentes para remover colorantes (Flórez et al., 2018). Aunado a esto, se ha reportado como agente biotecnológico, debido que es un microorganismo que cuentan con una alta tolerancia a condiciones extremas, como lo puede ser la presencia de metales pesados, concentraciones altas o bajas de sales, pH ácido, altos niveles de compuestos xenobióticos y/o la presencia de colorantes azoicos. (Bolívar, 2023; Al-Tohamy et al., 2020; Giovanella et al., 2019)

El término inmovilización se refiere al confinamiento de células o enzimas en una región definida, reteniendo sus propiedades y actividades catalíticas. El alginato de calcio provoca la unión de las levaduras actuando como soporte durante la reacción, para que la actividad catalítica de las levaduras no sufra ningún tipo de alteración, ya que brinda protección a los microorganismos contra agentes tóxicos, estrés ambiental y condiciones adversas presentes en aguas residuales. Esto permite que las células puedan ser fácilmente separadas de los productos y de esta manera ser recuperadas y reutilizadas. (Hernandez et al., 2011; Flórez et al., 2018). Adicionalmente, el alginato de calcio actúa como un espesante biodegradable y una alternativa de confinamiento de bajo costo (Flórez et al., 2018).

Por todo lo mencionado anteriormente, y con la finalidad de lograr un efectivo método de remoción de colorantes de aguas contaminadas utilizando una técnica que no

se preocupe por la eliminación de biomasa después de ser manipulada (Vatandoostarani, 2017), se propone evaluar la eficiencia de

Materiales y Métodos

Colorantes y Medios

Durante el experimento se utilizó colorante negro 22 grado comercial. Los reactivos para la preparación de medio y otras soluciones fueron de grado analítico. Los medios empleados fueron caldo YPD (Roth, 2021), agar YPD (Roth, 2021), agar PDA (Oxoid, 2021); el medio mínimo mineral fue modificado del medio propuesto por Florez et al. (2018), el cual contiene: 1 g/L de sacarosa, 1 g/L de NH_4Cl , 0.5g/L de NaH_2PO_4 , 0.4 g/L de NaCl , 0.35 g/L de MgCl_2 , y 0.05 g/L de CaCl_2 .

Resiembra del microorganismo

Se realizó la resiembra de la cepa *S. cerevisiae* ATCC 9763 en medio YPD, para asegurar la pureza del microorganismo de interés. Se incubó por 48 horas a 28 °C y posteriormente se realizó una tinción del crecimiento, para confirmar la ausencia de bacterias Gram positivas o Gram negativas en la muestra.

Prueba de tolerancia de *S. cerevisiae* al colorante Negro 22

Se sembró *S. cerevisiae* de forma masiva sobre agar YPD adicionado con distintas concentraciones de colorante Negro 22 (250 ppm, 350 ppm y 500 ppm) por duplicado. Se incubó por 48 horas a 28 °C para observar la presencia o ausencia de crecimiento en las cajas y así observar la resistencia del microorganismo a diferentes concentraciones del colorante.

Observación de fotosensibilidad de colorante

La prueba se realizó con el colorante a concentraciones de 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm y 250 ppm. Las soluciones se colocaron con tubos de ensaye y fueron expuestas a la luz del día, durante 8 días y se

remoción del colorante azoico Negro 22 utilizando *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada en matriz de alginato de calcio. tomó evidencia fotográfica inicial y final para hacer una comparación visual de la coloración del agua con colorante, observando si disminuía o no la intensidad de color, con la finalidad de prevenir la remoción por fotosensibilidad, y asegurar que la remoción era por el sistema propuesto.

Cultivo de Biomasa

De una caja Petri con crecimiento del microorganismo, se realizó una tinción para asegurar que se tuviera el cultivo puro inicial. El cultivo se inoculó en 10 ml de medio YPD, para colocarse posteriormente en matraz con 150 ml de caldo YPD (por triplicado), durante 48 horas a 28°C y 125 rpm. Se realizó una tinción posterior al crecimiento en medio líquido, para asegurar que el cultivo fuera axénico y revisar el crecimiento de la biomasa. Se centrifugó el contenido de los matraces a 5,100 rpm durante 10 minutos, se retiró el sobrenadante, se realizó un lavado con solución salina al 0.85 % (p/v), y se resuspendió el pellet con vortex. Se repitió este proceso hasta concentrar toda la biomasa de los matraces. La biomasa obtenida fue usada para la inmovilización en matriz de alginato.

Inmovilización de *S. cerevisiae*

A continuación, la biomasa de *S. cerevisiae* se resuspendió en 30 ml de solución salina 0.85 % (p/v) y se mezcló con 0.6 g de alginato de sodio, para obtener una concentración de 2 % (p/v), la biomasa y el alginato se mezclaron hasta obtener una consistencia homogénea y viscosa. Con ayuda de una jeringa se tomó la mezcla y se descargó por goteo sobre 300 ml de cloruro de calcio 1.5 % (p/v) a 4 °C, el cual se mantuvo en agitación suave y continua, para favorecer la formación de las perlas (Calderón, 2017), las cuáles se separaron por filtración con ayuda de una gasa estéril y se almacenaron en medio con colorante a 150 ppm por 48 horas, a 125 rpm y 28 °C (Figura 1).

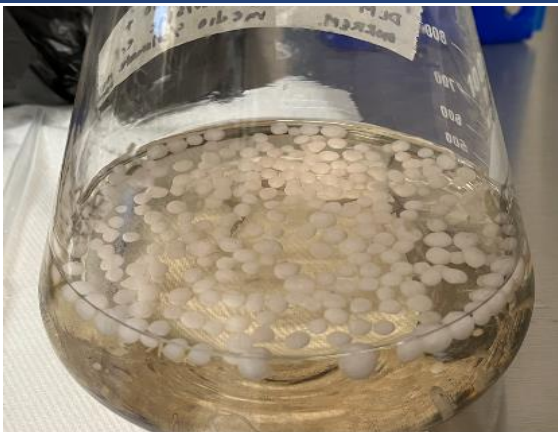


Figura 1. Pellets de biomasa de *S. cerevisiae* inmovilizada en alginato de calcio, las cuales se encuentran suspendidas en medio mínimo mineral con colorante a 150 ppm incubadas por 48 horas en agitación a 125 rpm a 28 °C.

Remoción del colorante

Se utilizó el medio mínimo mineral propuesto por Flórez et al. (2018). Se preparó el medio adicionado con 250 ppm de colorante Negro 22, siendo las proporciones del medio 1 g/L de sacarosa, 1 g/L de NH_4Cl , 0.5g/L de NaH_2PO_4 , 0.4 g/L de NaCl , 0.35 g/L de MgCl_2 , y 0.05 g/L de CaCl_2 . Se añadieron 100 ml de medio con colorante a cada matraz experimental y se agregaron 7 g de perlas de alginato con

biomasa de *S. cerevisiae* inmovilizada, el experimento se realizó por triplicado.

Para el experimento se prepararon los controles, los cuales contenían solamente 100 ml de medio con colorante. Una vez preparados los matraces, se metieron a incubar cubiertos en aluminio, debido a la fotosensibilidad del colorante (Hernández et al., 2021). Los matraces se incubaron a 28 °C y 125 rpm, todos los tratamientos se incubaron bajo las mismas condiciones, tanto los dos controles como el triplicado de matraces de medio con colorante y perlas con biomasa de *S. cerevisiae* inmovilizada. Se tomaron muestras de cada matraz cada 24 h durante 8 días y después se leyeron en el espectrofotómetro a 490 nm para calcular la concentración del colorante posterior al proceso de remoción, este cálculo se realizó con ayuda de la curva patrón del colorante. También se realizaron barridos de 200 nm a 600 nm en el espectrofotómetro de las muestras iniciales y las finales, para comparar los picos de absorbancia presentes en la muestra, y así observar, si fuera el caso, la aparición de intermediarios de la remoción.

La remoción se calculó con la fórmula propuesta por López et al. (2020).

$$\% \text{ Remoción} = \left[\frac{\text{concentración afluyente} - \text{concentración efluente}}{\text{concentración afluyente}} \right] * 100$$

Al concluir el muestreo se hizo una tinción de Gram para asegurar que no hubiera contaminación en los matraces de los experimentos.

Resultados y Discusión

Las levaduras como *S. cerevisiae*, al ser consideradas “GRAS”, es decir, es un microorganismo que se conoce como apto para el consumo humano, se elimina la preocupación de manejar medidas de remoción de los microorganismos que podrían ser patógenos oportunistas en un sistema propuesto para el tratamiento de residuales textiles (Matúš et al., 2023; Moreno et al., 2018).

En la Tabla 1, se reflejan los estudios reportados en la literatura sobre el uso de distintas levaduras como estrategia de remoción de colorantes azoicos, donde se obtuvieron mayores porcentajes de remoción con el uso de otras levaduras distintas a *S. cerevisiae*. (Bulacio, 2018; Matúš et al., 2023; Tsang et al., 2018).

Artículos

Tabla 1. Remoción de colorantes azoicos usando distintas levaduras inmovilizadas en diferentes tipos de matrices.

Levadura	Colorante Azoico	Inmovilización	% Remoción	Referencia
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Azul de metileno	Alginato de Calcio	76 - 82 %	(Puentes, 2010)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Negro P-SG	Gelatina	77%	(Fuentes, et al., 2018)
<i>Saccharomyces sp</i>	Rojo metílico y azul tripan	Alginato de Sodio	70 - 80 % y 65 - 75 %	(Dastagir, et al., 2014)
<i>Yarrowia lipolytica</i>	Azul de metileno	Perlas de alginato de sodio	Máxima adsorción 66.67 mg/g	(Mupa, et al., 2018)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Naranja de Metilo	Nanoparticulas F ₃ O ₄	96.52%	(Azeez, et al., 2022)

La resiembra de la cepa original de la levadura *S. cerevisiae* ATCC 9763 en medio YPD nos asegura que el cultivo del microorganismo es axénico.

Por lo tanto, al realizar las tinciones (Figura 2) se puede visualizar claramente que la levadura empleada no presenta contaminación bacteriana ni fúngica.



Figura 2. Tinción de Gram de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. No se presenta contaminación fúngica o bacteriana, lo que nos indica que se trata de una cepa pura.

Artículos

Las pruebas de tolerancia del colorante se realizaron para poder determinar si el microorganismo seleccionado, en este caso *S. cerevisiae* es resistente a altas concentraciones del colorante Negro 22. De acuerdo con lo mencionado por Santillán et al. (2018) los colorantes azoicos son tóxicos, por lo tanto, concentraciones altas del colorante

pueden llegar a afectar el crecimiento de diversos microorganismos. Como se observa en la (Figura 3) *S. cerevisiae* es resistente al colorante Negro 22 grado comercial, en al menos 500 ppm lo que nos indica que su empleo como microorganismo para la remoción de colorantes de tipo azoicos es posible.

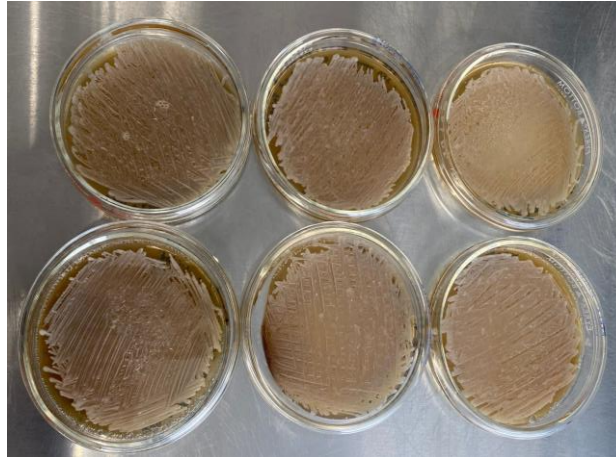


Figura 3. Pruebas de tolerancia en medio YPD con distintas concentraciones (250 ppm, 350 ppm y 500 ppm) de colorante Negro 22 inoculados con *S. cerevisiae* por siembra masiva después de 24 horas de incubación a 28 °C. Se observa crecimiento en todas las placas, lo que significa que *S. cerevisiae* es resistente al colorante Negro 22.

Kunitou et al. (2002) realizaron pruebas de fotodegradación de distintos colorantes azoicos por medio de lámparas de mercurio y luz ultravioleta, donde se arroja que únicamente tienen una disminución en presencia de azúcares. Como se observa en

la (Figura 4), la prueba de fotosensibilidad no demuestra de manera cualitativa un cambio en la intensidad de color del colorante Negro 22, lo que nos refiere a que dicho colorante no es fotosensible a temperatura ambiente (Juárez, 2015; Pérez, 2016)

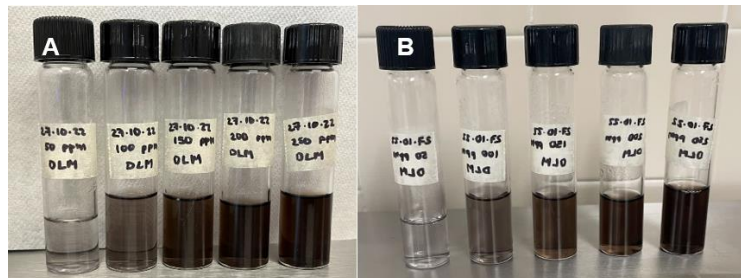


Figura 4. Prueba de fotosensibilidad del colorante Negro 22 a distintas concentraciones, incubada a temperatura ambiente y sin agitación por 8 días con exposición a la luz. A) inicio de la prueba, B) finalización de la prueba

Al exponer a la levadura *S. cerevisiae* al colorante antes de los tratamientos, se buscó disminuir el nivel de estrés que la levadura experimentaría al entrar en contacto con una sustancia tóxica. Esta estrategia se ha respaldado en estudios previos, como el realizado por Albarracín (2020), donde se encontró que la pre-exposición a sustancias tóxicas puede preparar a los microorganismos para enfrentar mejor el estrés y mejorar su

capacidad para eliminar contaminantes. Al eliminar el estrés adaptativo como un factor que contribuye al porcentaje de remoción del colorante, se puede tener una evaluación más precisa de la eficacia del tratamiento. Esto significa que el porcentaje de remoción del colorante refleja principalmente la capacidad intrínseca de la levadura para adsorber el colorante, sin verse influido por adaptaciones previas.

La Figura 5 refleja de forma visual el comportamiento de los matraces experimentales a lo largo del tiempo, donde se observa que los matraces se mantienen estables durante todo el experimento, lo que

sugiere que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes y que no hubo anomalías significativas que pudieran afectar la interpretación de los resultados.

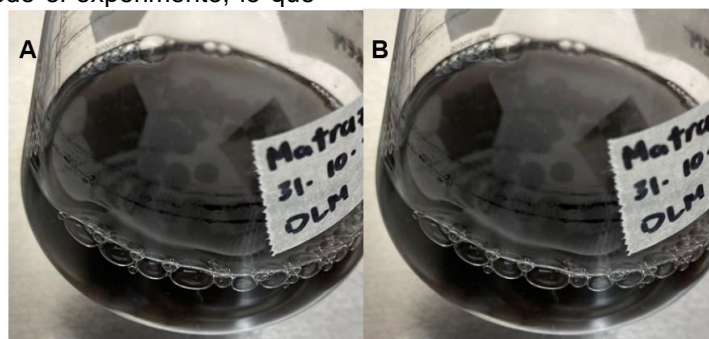


Figura 5. Observación de los matraces al día 8 de tratamiento. Medio y colorante a 500 ppm con pellets de biomasa de *S. cerevisiae* inmovilizada en alginato de calcio. incubados a 28 °C y en agitación por 125 rpm. "A": matraz 1, "B": matraz 2.

En la Figura 6 se determina que el tercer día del experimento fue el punto donde se observó la mayor remoción del colorante, alcanzando aproximadamente un 54.61%. Sin embargo, después de este tiempo, se observa un aumento en las concentraciones del colorante y una disminución en el porcentaje de remoción. Este fenómeno podría explicarse por la acción de enzimas metabólicas como peroxidasas y oxidasas presentes en la levadura *S. cerevisiae*. Estas

podrían estar descomponiendo la estructura del colorante en compuestos más pequeños durante el proceso de remoción, lo que a su vez podría generar metabolitos secundarios que podrían afectar la eficiencia de la remoción. Es importante tener en cuenta este efecto metabólico al diseñar estrategias para mejorar la eficacia de la remoción del colorante en futuros experimentos.

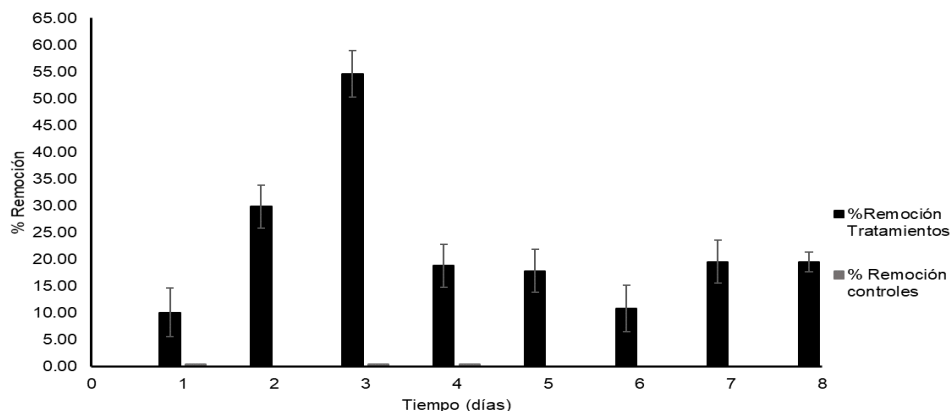


Figura 6. Resultados del % de remoción del colorante negro 22 usando *S. cerevisiae* inmovilizada en perlas de alginato durante 8 días de tratamiento, en agitación a 125 rpm e incubado a 28°C.

A pesar de que se obtuvieron porcentajes de remoción de colorante distintos a los valores reportados por otros estudios previos, se considera que la levadura *S. cerevisiae* posee un potencial significativo para ser utilizado como agente de remoción de colorantes azoicos. Esto sugiere que, con ajustes en las condiciones experimentales (como la temperatura, la agitación y tiempo de tratamiento), se podría optimizar su

desempeño. De igual forma, es importante destacar que esta levadura, de categoría "GRAS", es un microorganismo seguro para su uso en aplicaciones industriales y ambientales, lo que en combinación con su capacidad para remover colorantes, sugiere que podría ser una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorantes azoicos.

Conclusión

En este caso se logró la remoción del colorante textil negro 22 grado comercial por medio de la inmovilización de *S. cerevisiae* en perlas de alginato, alcanzando un 54.6% de remoción. Se observa que *S. cerevisiae* es tolerante a la toxicidad del colorante azo, lo que confirma que es un microorganismo adecuado para continuar con los estudios de remoción de diferentes sustancias.

Perspectivas

Con base a los resultados obtenidos, se recomendaría hacer estudios posteriores para la identificación de posibles metabolitos secundarios generados por las reacciones enzimáticas entre la levadura *S. cerevisiae* y la estructura del colorante azoico.

Referencias

Albarracín K (2020) Estudio de parámetros para la propagación de las cepas de Levadura cervecera *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces carlsbergensis* para la Fabricación de Cerveza Artesana. Tesis Maestría en Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. pp. 1-98

Al-Tohamy R, Kenawy E, Sun J, Ali S (2020). Performance of a Newly Isolated Salt-Tolerant Yeast Strain *Sterigmatomyces halophilus* SSA-1575 for Azo Dye Decolorization and Detoxification. *Frontiers in Microbiology*, 11(1163), pp. 1-19. <https://doi:10.3389/fmicb.2020.01163>

Avendaño GC, López A & Palou E (2013) Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos* 7(1): 87-96.

Azeez R, & Al-Zuhairi F (2022). Biosorption of dye by immobilized yeast cells on the surface of magnetic nanoparticles. *Alexandria Engineering Journal*, 61(7), pp. 5213-5222.

Banu RJ, Shin H, Bharagava RN & Saratale GD (2020) Textile Industry Wastewaters as Major Sources of Environmental Contamination: Bioremediation Approaches for Its Degradation and Detoxification. *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*. In: Saxena, G., Bharagava, R. (eds). Springer, Singapore.

https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7_7

Bolivar M, Gaviria A, López L (2023). Evaluación del potencial de levaduras nativas aisladas de aguas residuales industriales para la remoción de colorantes azoicos. *Revista Actualidades Biológicas*, 45(118).

Bulacio Gil NM (2018) Mechanisms involved in the biodecolorization of effluents with yeast from *Trichosporon* genus. Tesis Doctoral en Biotecnología medio ambiental. Universidad Nacional de Tucumán, pp. 1-74

Calderón M (2017). Aplicación de un Sistema Inmovilizado en Esferas de Alginato de Calcio en la Remoción de Fenoles". Tesis Maestro en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología. Instituto Tecnológico de Mérida: Ingenierías USBMed, pp. 1-47.

Cortazar A, González C, Coronel C, Escalante J, Castro J (2012). Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. *Universidad y Ciencia*, 28(2), pp. 187-199.

Dastagir, Sameera, S., & Padma, P. (2014). Studies On Immobilized Yeast For Decolorization Of Azo Dyes. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3, 182-185.

Flórez MCJ, Betancur MQ, Ciro MJ & Betancur SM (2018) Biorremediación del Colorante Negro

Azoico por Levadura Inmovilizada en Gelatina. Tesis Maestro en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología. Instituto Tecnológico de Mérida: Ingenierías USBMed, 9(1). pp.30-38. <https://doi.org/10.21500/20275846.3199>

Giovanella P, Vieira G, Ramos I, Pellicer E, et al (2019). Metal and organic pollutants bioremediation by extremophile microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.12102>

Hernandez A (2011) Inmovilización de microorganismos en esferas de alginato como protección contra condiciones adversas en tratamiento de agua residual. Tesis Maestría

Artículos

en Ciencias. Centro de investigaciones biológicas del noroeste, S.C. pp. 1-67

Hernández K, Morales G, Flores R, González T & Leonardo R (2021) Cinética de la fotodegradación del colorante azo azul reactivo 69. Revista Tendencias en Docencia e Investigación Química, 7(7). pp. 243-250.

Juárez D (2015) Estudio de la fotorreacción de colorantes azoicos en azúcares. Tesis Maestría en Tecnología Avanzada. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. pp. 10-18

Kunitou K, Maeda S, Hongyou K & Mishima K (2002) Effect of Glucose on Photocatalytic Decolorization of Dyes by TiO₂. Can J. Chem. Eng, 80, pp. 208-213

Kordialik-Bogacka E (2014). *Saccharomyces pastorianus* immobilized on brewer's spent grain in a continuous system for lead ion biosorption. International Biodeterioration and Biodegradation 96: 191-197.
<http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.09.018>

López H & Pincay J (2020) Evaluación de la Eficiencia de Bioadsorción de Cáscara de Banana (*Musa x paradisiaca*) para la Remoción de Plomo en Aguas Residuales de la Lubricadora "Lubriautos Mafriss". Tesis Nivel Licenciatura en Ingeniería en Medio Ambiente. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. pp. 1-47.

Matúš P, Littera P, Farkas B & Urík M (2023) Review on performance of *Aspergillus* and *Penicillium* species in biodegradation of organochlorine and organophosphorus pesticides. Microorganisms 11(6): 1485.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11061485>

Moreno S & Ramos-Clamont G (2018) Descontaminación de Arsénico, Cadmio y Plomo en Agua por Biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 21: 51-68.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.155>

Mupa M, Kubara R, & Gere J (2018). Extraction, growth and immobilization of

Yarrowia lipolytica yeast cells for dye effluent treatment. Archives of Environmental Protection, 44(1).

Najares J (2014) Biodegradation Perspectives of Azo Dyes by Yeasts. Microbiology, 83: 488-497. Pleiades Publishing.

Oxoid. (2021) Agar PDA para la Biología Molecular. Oxoid. Recuperado de:
<https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=10197602&productDescription=500+GR+POTATO+DEXTROSE+AGAR+POWDER+500+G&countryCode=ES&language=es>

Pérez J (2016) Estudio de la degradación de colorantes azoicos mediante la combinación de un proceso foto-fenton asistido con ferrioxalato y un proceso biológico anaerobio. Tesis Nivel Licenciatura en Ingeniería Química. Escuela Politécnica Nacional. pp. 1-25

Puentes Camacho, D. (2011). Determinación de parámetros de un modelo axial y en estado transitorio de la biosorción de azul de metileno mediante biomasa de *saccharomyces cerevisiae* inmovilizada en alginato de calcio en columna empacada. Tesis Doctoral: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Roth (2021) Caldo YPD para la Biología Molecular. Roth. Recuperado de:
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-X970-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjg3Mzh8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oZDlv aGU0LzkwNTU1MzYxODUzNzQucG RmfDZhYjQ5NDJhYTJjNzIxZTM1ZjI hYWM0NmQwZmRkNzQ0M2Y2N2M 4N2Y0YTM4Y2ZjNjE5ODU0YjdlNjJl MjJiMmQ>

Roth (2021) Agar YPD para la Biología Molecular. Roth. Recuperado de:
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-X971-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjg3NDV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oM2E vaDc5LzkwNTU1MzYyMTgxNDIucG RmfDRhYjliOTY0ZGZkYjBIOWZjNzN>

Artículos

[kNDcyMWFmMjRhZGQ3ZDI1M2JIN
mZiNTY4OGRI MmMwZGYzZWYwM
TRiMWYzYjQ](https://doi.org/10.1186/s40643-022-00507-5)

Ruscasso F (2022) Antarctic yeasts: potential use in a biologic treatment of textile azo dyes –Bioresources and Bioprocessing. SpringerOpen.
<https://doi.org/10.1186/s40643-022-00507-5>

Santillán F & Maza M (2018) Remoción de colorantes azoicos rojo allura (rojo 40) mediante el uso de perlas de quitosano magnetizadas en medio acuoso. Revista de la Sociedad Química del Perú, 84(1), 18–26.

Tovar O, Pinedo A & del Rosario Sun-Kou M (2016) Adsorción de colorantes textiles azoicos empleando arcillas pilaradas con aluminio. El impacto de la Integración Disciplinaria de la Ingeniería y las Ciencias Químicas, en la Innovación y el Desarrollo Sostenible, México.

Tsang C, Tang J, Lau S & Woo P (2018) Taxonomy and Evolution of *Aspergillus*, *Penicillium* and *Talaromyces* in the omics era – Past, present and future. Computational and Structural Biotechnology Journal.
<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.05.003>

Vatandoostarani S (2017) Degradation of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763. International Biodeterioration & Biodegradation 125. pp.62-72.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.08.009>