

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0087>

SELECCIÓN DE HONGOS CON CAPACIDAD DEGRADATIVA DE COLORANTES SINTÉTICOS

SELECTION OF FUNGI WITH THE ABILITY TO DEGRADE SYNTHETIC DYES

Zamora-Quijije Sergio Miguel^{1*}; Ponce-Bazurto Génesis Mabel¹; Rosero-Delgado Ernesto
Alonso¹; Burgos-Briones Gabriel Alfonso¹

¹Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas,
Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

*Correo: szamora7093@utm.edu.ec

Resumen

La contaminación provocada por colorantes crece a medida que la industria también lo hace. En los últimos años, las investigaciones han centrado sus objetivos en minimizar esta contaminación, pero sin llegar a tener éxito total, por lo que existen muchos tipos de tratamientos que buscan mitigar dicha contaminación. En el presente trabajo se evaluaron cinco cepas de *Pleurotus djamor* (Pd318, Pd319, Pd320, Pd321 y Pd322) con la finalidad de determinar cuál de ellas puede utilizarse a escala industrial. Se realizaron ensayos para evaluar la velocidad de colonización y la velocidad de degradación de los colorantes de uso alimenticio Amarillo 5 (A5), farmacológico Rojo 40 (R40) y textil Azul 19 (A19). Se observó que no existe inhibición del crecimiento de las cepas por la presencia del colorante. La cepa Pd322 presentó la mayor velocidad de formación de halo (ABTS) 0.93 cm día⁻¹, y una capacidad degradativa por día de los colorantes A19, R40 y A5 del 51%, 36% y 8% respectivamente. Los ensayos experimentales permitieron concluir que la cepa Pd322 puede utilizarse en procesos industriales de degradación de colorantes sintéticos.

Palabras clave: Colorantes sintéticos, *Pleurotus djamor*, degradación, Lacasa.

Abstract

Pollution caused by colorants grows as the industry does too. In recent years, research has focused its objectives on minimizing this contamination, but without being totally successful, which is why there are many types of treatments that seek to mitigate said contamination. In the present work, five strains of *Pleurotus djamor* (Pd318, Pd319, Pd320, Pd321 and Pd322) were evaluated in order to determine which of them can be used on an industrial scale. Tests were carried out to evaluate the colonization rate and the degradation rate of the food dyes Yellow 5 (A5), pharmacological Red 40 (R40) and textile Blue 19 (A19). It was observed that there is no inhibition of the growth of the strains by the presence of the dye. The Pd322 strain presented the highest halo formation rate (ABTS) 0.93 cm dia⁻¹, and a degradative capacity per day of the dyes A19, R40 and A5 of 51%, 36% and 8% respectively. The experimental tests allowed to conclude that the Pd322 strain can be used in industrial processes for the degradation of synthetic dyes.

Keywords: Synthetic dyes, *Pleurotus djamor*, degradation, Laccase.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de diciembre de 2021.

Fecha de aceptación: 19 de enero de 2022.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2023.

1. Introducción

Los colorantes son sustancias químicas capaces de brindar color, son muy versátiles y tienen amplias aplicaciones, por lo que son muy utilizados en diferentes procesos industriales (Zollinger, 2003). Las principales industrias que emplean colorantes como aditivos o materias primas son la textil y la alimentaria, con menor afluencia la industria cosmética y farmacéutica. Los procesos en los que se aplican los colorantes, son a gran escala y generan una gran cantidad de efluentes residuales coloreados (Naidu, 2019; Pavithra et al., 2019). Se reporta que cerca del 15% del colorante producido anualmente es descargado por las industrias y que la mayoría no llevan ningún tratamiento para eliminar el color de los efluentes (Pavithra et al., 2019). Los colorantes al estar presentes en un medio natural contaminado, tienen la capacidad de interactuar con los agentes con los que entren en contacto. El mecanismo con el que se produce esta interacción va ligado con las características físicas y químicas de cada colorante, las mismas que pueden llegar a ser muy variadas, lo que complica aún más tener el control de la contaminación

generada (Naidu, 2019; Ogbodo & Ugwuanyi, 2017; Pavithra et al., 2019). De este modo, es fundamental estudiar las características moleculares de cada colorante, ya que eso permitiría predecir, en cierta medida, su comportamiento con el medio y sus posibles métodos de degradación.

Se ha puesto en contexto el término remediación y biorremediación, los mismos que representan a un conjunto de técnicas, métodos y tratamientos que buscan darles solución a los problemas de contaminación existente (Wang et al., 2021). En la actualidad, el término biorremediación ha tomado mayor fuerza en el ámbito científico, ya que representa los métodos en los que se utilizan residuos agrícolas y ganaderos, microorganismos y todo material de origen biológico que en su mayoría no presenta mayor utilidad y que por el contrario representan un problema (Tyagi & Kumar, 2021; Wang et al., 2021). Los estudios realizados demuestran toda la gama de variantes que pueden resultar de estos métodos con diferentes eficiencias, características de operación y costos (Shivalkar et al., 2021). Los métodos de carácter

biológico son menos tóxicos para el ambiente y presentan gran capacidad de degradación y de mineralización de moléculas complejas.

Uno de los principales retos que enfrentan los procesos de degradación de colorantes con tratamientos biológicos, son los tiempos de fermentación que se deben mantener para llegar a obtener altos porcentajes de degradación (Misra et al., 2020). Sobre esto, los estudios reportados demuestran la necesidad de conseguir procesos biológicos más eficientes. Las estrategias más utilizadas son: variar el tipo microorganismo, el agente enzimático que actúa y las condiciones de operación.

En todo este contexto, entran en manifiesto los hongos de pudrición blanca, quienes son capaces de degradar moléculas de estructura fenólica como la lignina (Zabel & Morrell, 2020). La lignina es un polímero orgánico con su estructura principal compuesta por anillos similar a estructuras complejas contaminantes como las de los colorantes, por este motivo, se dice que los hongos de pudrición blanca

pueden degradar moléculas de colorantes (Ralph & Catchside, 2002; Zabel & Morrell, 2020). En la actualidad los hongos basidiomicetos de la podredumbre blanca son utilizados en diversas aplicaciones biotecnológicas, todo esto debido a que son los microorganismos más eficaces y quizás los más extendidos, degradadores de la lignina y de otras sustancias orgánicas xenobióticas de estructura compleja (Hatakka, 1994). La capacidad que poseen estos hongos de degradar la lignina excretando un grupo de oxidasas inespecíficas posibilita su aplicación, o la de sus enzimas oxidativas (Lignina peroxidasa, Manganese peroxidasa y Lacasa) en el tratamiento de aguas residuales de las diversas industrias para la remoción de colorantes (Jaouani et al., 2003; Kumar & Shah, 2021; Lopes et al., 2020; Messner & Srebotnik, 1994; Yesilada et al., 2018).

La variedad de hongos utilizados es amplia, y de la selección de éstos depende el rendimiento en el proceso de biorremediación o degradación de un contaminante como los colorantes industriales. Por

lo que, este trabajo tiene la finalidad de seleccionar cepas de hongos con capacidad degradativa de 3 colorantes sintéticos muy utilizados en la industria alimenticia y farmacéutica (R40-rojo 40 y A5-amarillo 5), así como en la industria textil (A19-azul19).

2. Metodología

2.1. Cepas de *Pleurotus djamor*

Se utilizaron 5 cepas de *Pleurotus djamor*; obtenidas en muestreos de investigaciones anteriores (Wittong et al., 2019). Éstas han sido codificadas como Pd318 aislada de una muestra de café, Pd319 recolectada en campo, Pd320 adquirida comercialmente, Pd321 desarrollada en bagazo de caña de azúcar y Pd322 desarrollada en cascarilla de arroz.

2.2. Expresión de enzima Lacasa y selección de cepa

Se realizó la evaluación de las cinco cepas, para determinar cuál es la que expresa la mayor actividad de enzima lacasa (Lac), para esto, se utilizó la técnica cualitativa en placa según lo establecido por Rubilar-Araneda (2007). Se utilizó un medio modificado con la siguiente composición en g L⁻¹: 10 glucosa; 2

K₂HPO₄; 0.5 MgSO₄; 0.5 (NH₄)₂SO₄; 0.1 Cl₂Ca; 0.0064 CuSO₄ y 22 agar-agar; al cual se le adicionó una concentración de 1 g/L (Ruiz, 2011) del reactivo ABTS (2,2-azinobis-[3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico]) como indicador de actividad Lac, debido a que este reacciona en presencia de la enzima, mostrando un halo de oxidación. Las placas fueron incubadas a una temperatura de 30°C por 8 días, tiempo durante el cual se evaluó el tamaño del halo en cm día⁻¹. Y se seleccionó la cepa de mayor velocidad de formación de halo para los experimentos posteriores.

2.3. Influencia del colorante en el crecimiento

Para determinar la influencia del colorante en el crecimiento de la cepa de mayor velocidad, se evaluó el efecto de la presencia de los colorantes sobre la colonización del micelio, así como su densidad. Para la densidad, se utilizó una escala cualitativa: presencia de micelio (+), micelio crece en toda la placa (++), micelio crece en toda la placa abundante y denso (+++). Para evaluar el efecto de los colorantes sobre la velocidad de colonización del micelio se realizaron mediciones

de la extensión radial cada 24h con la ayuda de un calibrador *Vernier*. Para comparar el efecto se utilizó un blanco, el cual no contenía colorantes en su composición.

2.4. Velocidad de decoloración en placa

La evaluación consistió en tomar mediciones axiales y radiales de la decoloración de las placas, las cuales contenían una concentración de 200 ppm de cada colorante. Estas placas fueron incubadas durante 8 días a 30°C. Las mediciones de la decoloración se tomaron diariamente con la finalidad de establecer la velocidad en la cual las placas se decoloran por la presencia del hongo.

2.5. Análisis estadísticos

Los valores obtenidos en la evaluación de las cepas, fueron sometidos a un análisis estadístico para evaluar si existen diferencias

significativas ($\alpha=0.05$) en los resultados de la expresión de la enzima Lac y velocidad de decoloración. Para lo cual se realizó la prueba de múltiples rangos con la ayuda del paquete estadístico *Statgraphics Centurion XVI*.

3. Resultados y discusión

3.1. Expresión de la enzima Lacasa

En la figura 1, se observa la presencia de un halo de oxidación de color verde oscuro en el medio con ABTS para las cinco cepas evaluadas (Pd318, Pd319, Pd320, Pd321 y Pd322), por lo cual se puede concluir que todas las cepas tienen la capacidad de expresar la enzima Lacasa. Sin embargo, el mayor diámetro del halo se observó en la placa número cinco, 7.45 cm en 8 días de incubación, la cual contenía la cepa Pd322, seguida la cepa Pd321 con un tamaño de 7.3 cm en 8 días de incubación.

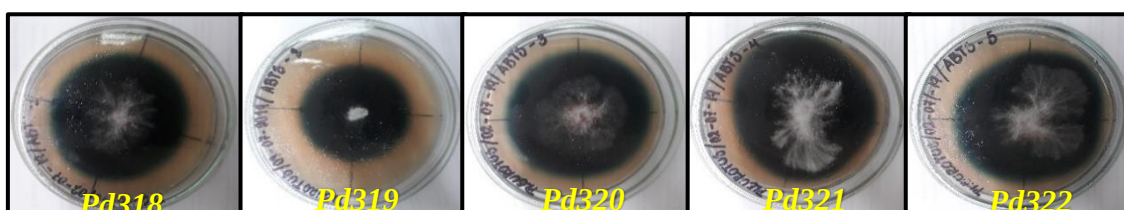


Figura 1. Tamaño del halo por presencia de enzima Lacasa en cada cepa evaluada (8 días de incubación, 30°C, ABTS = 1g L⁻¹).

Por su parte, en la figura 2 se puede observar que la cepa que presenta la mayor velocidad de formación del halo (ABTS) fue la Pd322 con 0.93 cm día^{-1} , seguido de la cepa Pd321 con 0.91 cm día^{-1} ; sin embargo, la prueba de múltiples rangos, demostró que la cepa Pd322 es

estadísticamente diferente a las demás (95.0% de confianza). Por lo cual se concluye que ésta es la cepa más adecuada para los experimentos posteriores de decoloración en placa, y sobre todo si el proceso es de utilidad a escala industrial.

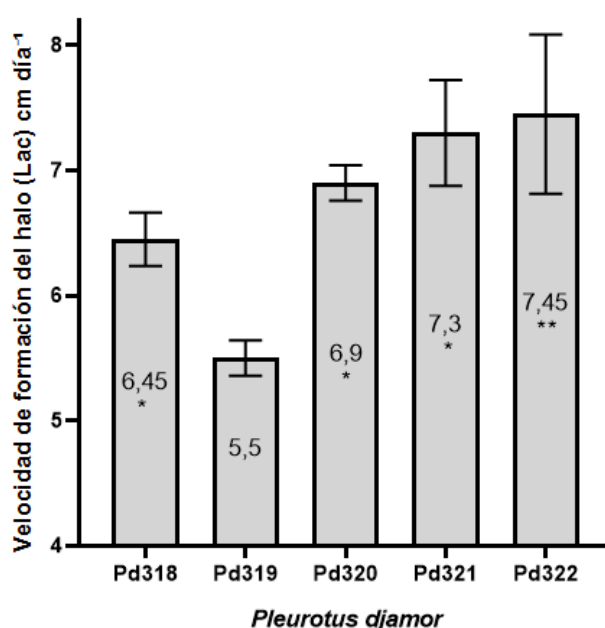


Figura 2. Presencia de enzima Lacasa en las cepas Pd318, Pd319, Pd320, Pd321 y Pd322 (8 días de incubación, 30°C , ABTS = 1 g L^{-1}).

*No existen diferencias estadísticas significativas, **Diferentes estadísticamente.

Autores como Alonso-Calderon et al. (2018) reportaron en su investigación que el *Pleurotus spp.* que mostró presencia de Lacasa es degradador de colorantes sintéticos. Por otro lado, Singh et al. (2013) y Rojas & Hormaza (2016) mencionan que estos hongos aparte de Lacasa pueden producir otras enzimas como

lignina peroxidasa (LiP) y manganeso peroxidasa (MnP), siendo este complejo enzimático capaz de la eliminación de compuestos xenobióticos recalcitrantes con estructura química similar a la lignina.

3.2. Influencia del colorante en el crecimiento de *Pleurotus djamor* cepa Pd322

Los ensayos en placa de Agar PDA y colorantes sembrados con la cepa *Pleurotus djamor* Pd322, demostraron que el hongo creció y además hubo una degradación en los cuatro medios evaluados con los colorantes anteriormente mencionados durante los 8 días de incubación. Sin embargo, entre ellas no se presentaron diferencias estadísticas significativas. Con los experimentos se logró demostrar que *Pleurotus djamor* Pd322 puede crecer en varios tipos de colorantes (figura 3). Existen pocas referencias respecto al uso de *Pleurotus djamor* para la degradación de colorantes

utilizados en las industrias textil y alimenticia, sin embargo, como se muestra en la presente investigación, este hongo puede tener un gran potencial para la degradación de colorantes en diferentes matrices contaminadas. Algunos autores como Alonso-Calderon et al. (2018), reportaron degradaciones del 43% de colorante azul de erionilo (antraquinona) y 31% de negro solofenilo (azo), ambos colorantes textiles, bajo la acción de la enzima Lacasa, obtenida de los extractos enzimáticos de *Pleurotus djamor*. Por su parte, Xin & Geng (2011) encontraron que para el tinte Rojo fenol utilizado en la industria alimenticia, se obtuvo un 41.79% de degradación por *Trametes versicolor*.

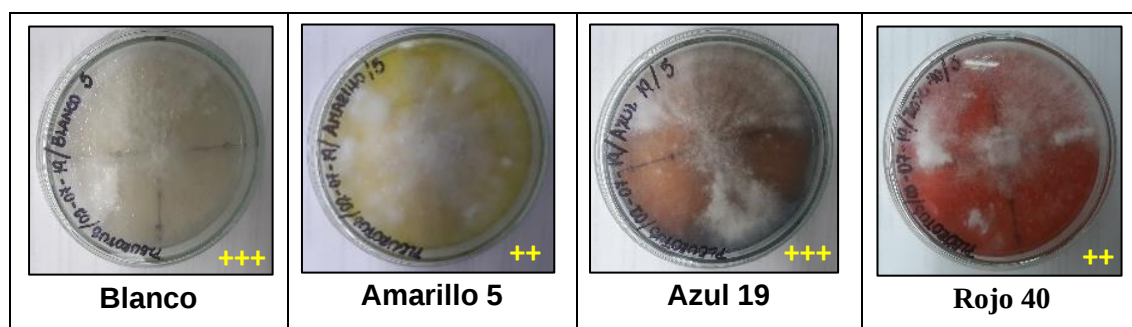


Figura 3. Densidad del micelio en cada cepa evaluada en presencia de colorantes industriales en el medio (8 días de incubación, 30°C, R40/A5/A19 = 200ppm c/u).

Otros autores informan que la forma más común de utilizar el *Pleurotus djamor* es mediante la aplicación de

extractos enzimáticos obtenidos de un consorcio de hongos, por ejemplo, con enzimas producidas de

otras especies de hongo, principalmente con *Pleurotus ostreaeatus* y *Ganoderma aff. zonatum*, con la finalidad de mejorar la efectividad de las enzimas sobre estos contaminantes (Kalmış et al., 2008; Manzano-León et al., 2011).

3.3. Velocidad de colonización en un medio contaminado

En la figura 4 se observa que el crecimiento de la cepa *Pd322* del hongo *Pleurotus djamor*, no presenta inhibición por la presencia de los tres colorantes evaluados en el medio, la velocidad de crecimiento en las placas con colorante R40 fue de $0.063 \text{ cm día}^{-1}$, para el colorante A5 se observó una velocidad de crecimiento de $0.061 \text{ cm día}^{-1}$, por su parte la placas con colorante textil A19 mostraron una velocidad de crecimiento de $0.058 \text{ cm día}^{-1}$. Estos valores de velocidad encontrados no muestran diferencias significativas en comparación con el blanco (medio sin colorante), en el cual la cepa presenta una velocidad de crecimiento de $0.059 \text{ cm día}^{-1}$, por lo cual, se puede concluir que la velocidad de crecimiento de la cepa no presenta un efecto por la

presencia de los colorantes. Datos reportados por Manzano-León et al. (2011), quienes evaluaron una cepa de *P. djamor* en colorantes sintéticos (Cibacron escarlata C-6G, Cibacron violeta WH-B, Cibacron verde BF), concluyen que no hay inhibición de crecimiento por la presencia de dicho colorante; cabe mencionar, que estos valores de velocidad de crecimiento son inferiores a los que reporta León-Avendaño et al. (2013) en su investigación donde la velocidad de crecimiento del hongo *Pleurotus djamor* fue de $0.561 \text{ cm día}^{-1}$. Esta diferencia puede deberse a que en ambas investigaciones se realizaron en días de incubación (6 días) y temperaturas ($26\text{-}27^{\circ}\text{C}$) diferentes; también puede asociarse a diferentes atributos genéticos de cada cepa de la especie con las que se trabajó en estas investigaciones. Kunjadia et al. (2016) también informan que un hongo que tiene la capacidad de expresar enzima Lacasa, puede degradar los colorantes en un medio, por lo cual los mismos no presentan inhibición de crecimiento; como se pudo comprobar en este trabajo de investigación.

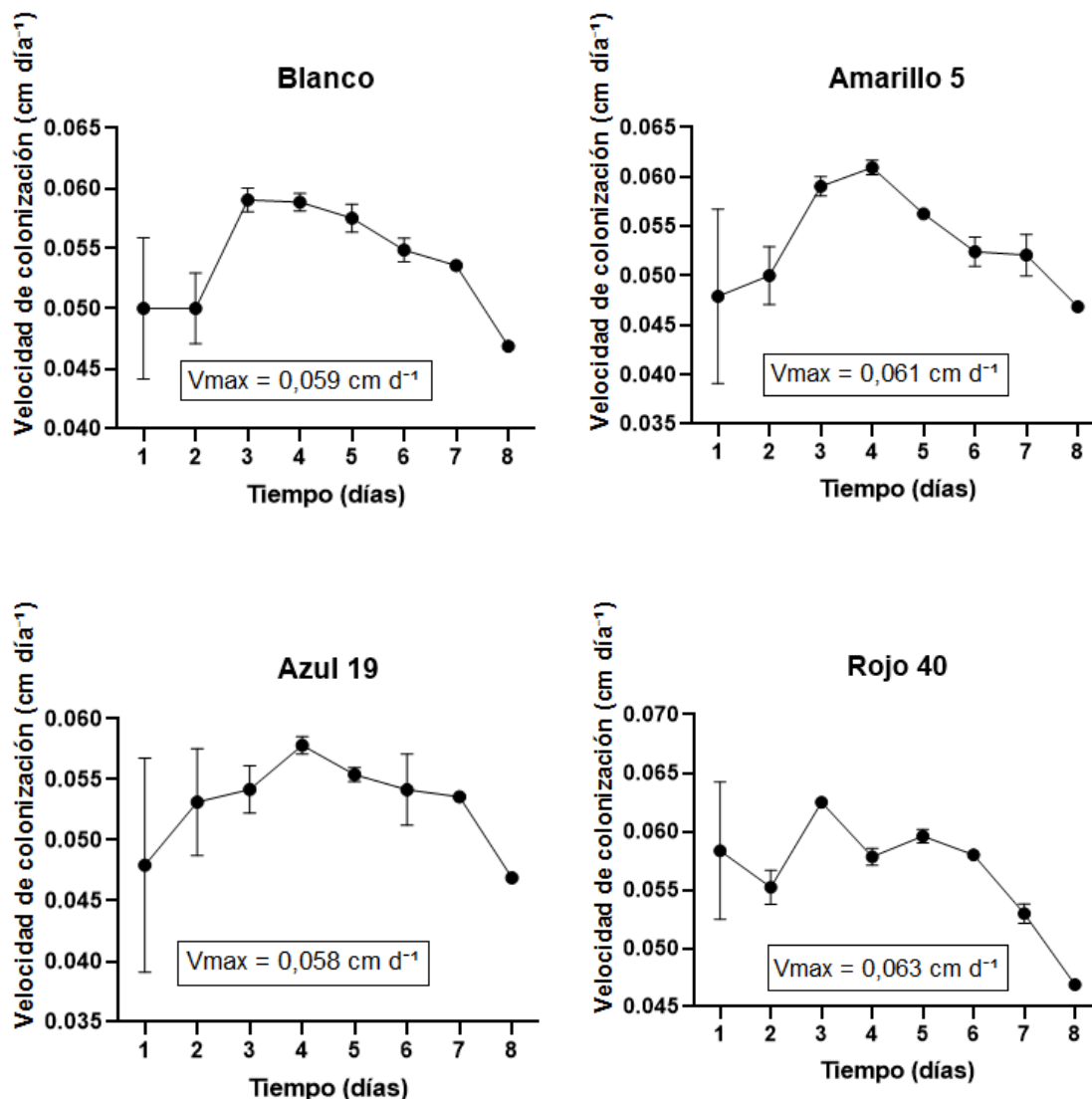


Figura 4. Velocidad de colonización de la cepa Pd322 del hongo *Pleurotus djamor* en presencia de tres colorantes industriales (R40/A5/A19 = 200ppm c/u durante 8 días de incubación, 30°C).

3.4. Velocidad de decoloración

En cuanto a la velocidad de decoloración de los 3 colorantes evaluados, los resultados demostraron que para el colorante textil A19 la cepa Pd322 alcanza una velocidad de decoloración de 51% por día, para el colorante alimenticio A5 la velocidad fue de 8% por día y

para el colorante farmacológico R40 la velocidad de decoloración alcanzada por la cepa fue de 36% día (figura 5). Estas velocidades son cercanas a las que reportan Rosu et al. (2017) en su investigación donde establecen una velocidad de decoloración de 56.48% por día, empleando el hongo *Pichia kudriavzevii* y proponen en la misma

que la cepa se lleve a un proceso industrial. A pesar de ser un hongo de diferente género al propuesto en esta investigación, tiene un comportamiento similar en la degradación de dichos colorantes sintéticos. En base a los resultados

obtenidos, se puede inferir que la cepa *Pd322* del hongo *Pleurotus djamor* evaluada en la presente investigación puede ser utilizada para llevar a un proceso industrial de eliminación de colorantes.

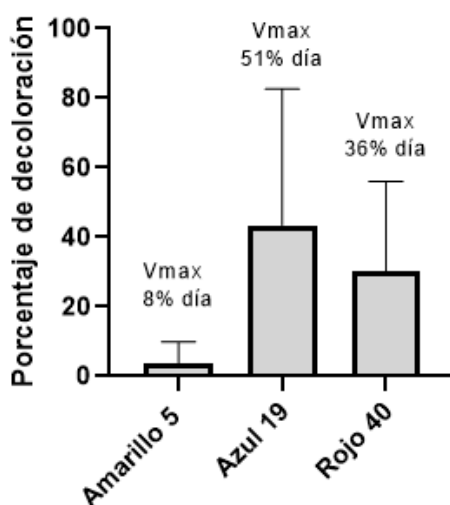


Figura 4. Porcentaje y velocidad de decoloración en placa de colorantes industriales con presencia de la cepa *Pd322* del hongo *Pleurotus djamor* (8 días de incubación, 30°C, R40/A5/A19 = 200ppm c/u).

Cabe destacar que, a diferencia de otros hongos, con *Pleurotus djamor*, se han logrado obtener altos porcentajes de degradación de colorantes en tiempos muy cortos. Sin embargo, en general para llegar a la remoción total de los colorantes se necesitan tiempos prolongados, tiempos que están referidos en dependencia de la especie de hongo utilizada.

El rendimiento en la degradación de los colorantes está relacionado directamente con el modo de trabajo, por ejemplo, cuando la producción enzimática se hace por separado en fermentación en estado sólido y posteriormente el extracto se pone en contacto con el colorante, la degradación de estos es mayor (Kalmış et al., 2008; Singh et al., 2013), sin embargo, la complejidad durante la obtención y purificación de

la enzima es mucho más costosa, que utilizarlo de manera directa en el medio contaminado. Esto sería perjudicial para fermentaciones in situ, ya que la producción enzimática y el hongo son afectados por la presencia del colorante en el medio.

La gama de microorganismos aplicados en tratamientos biológicos para medios contaminados con colorantes sintéticos es muy grande, ya que se busca la mayor eficiencia, con menos control de variables y manejo más sencillo. Por este motivo, resultan atractivos los hongos, en especial los del género *Pleurotus*, puesto que son muy eficientes para la mineralización de estructuras fenólicas y presentan mayor resistencia ante los cambios que se puedan producir en el medio durante la fermentación.

Los más destacados son las especies *P. djamor* y *P. ostreatus*, ya que pueden crecer con mayor afinidad sobre medios contaminados con colorantes. Esta propiedad pudo ser corroborada en la presente investigación para *Pleurotus djamor* (cepa *Pd322*), sin embargo, resulta de vital importancia optimizar el crecimiento y expresión de la enzima Lacasa, ya que esto permitiría la

creación de reactores industriales dotados con microorganismos capaces de degradar en mayor escala este tipo de contaminantes.

4. Conclusión

La contaminación ambiental generada por los colorantes tiene una elevada capacidad nociva para el medio ambiente y por consiguiente para los seres humanos. Debido a la gran variedad de colorantes con diferentes naturalezas químicas, resulta complejo controlar la contaminación que generan, ya que cada uno interactúa de forma diferente con el medio; lo que ha llevado a investigar posibles métodos de biorremediación para la contaminación producida por los mismos. En la presente investigación se determinó que la cepa *Pd322* del hongo *Pleurotus djamor* tiene propiedades degradativas sobre los colorantes (R40-rojo 40, A5-amarillo 5 y A19-azul19) propuestos en la misma, debido a que esta cepa del hongo presentó el mayor diámetro de halo y mayor velocidad de crecimiento, a más de la capacidad de producir la enzima Lacasa, la cual es un indicador de que un hongo es capaz de degradar colorantes como

lo establecen diversos autores. El crecimiento de la cepa Pd322 no se inhibe por la presencia de los colorantes investigados, lo que lleva a inferir que dicha cepa se puede usar en procesos de biorremediación de aguas contaminadas con colorantes.

Bibliografía

- Alonso-Calderon, A. I. A., Chavez-Bravo, E., Vidal-Robles, E., Martinez-Galindo, S., Omaire-Vargas, J. R., & Marin-Castro, M. A. (2017). Removal of Erionyl blue A–R and solophenyl black FR textile dyes using enzymatic extracts of laccases of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus djamor*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 11(3), 1275-1279.
<http://dx.doi.org/10.22207/JPAAM.11.3.06>
- Hatakka, A. (1994). Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation. *FEMS Microbiology Reviews*, 13(2-3), 125-135.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00039.x>
- Jaouani, A., Sayadi, S., Vanthournhout, M., & Penninckx, M. J. (2003). Potent fungi for decolourisation of olive oil mill wastewaters. *Enzyme and microbial technology*, 33(6), 802-809.
[https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00210-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00210-2)
- Kalmış, E. K., Azbar, N. A., & Kalyoncu, F. K. (2008). Evaluation of two wild types of *Pleurotus ostreatus* (MCC07 and MCC20) isolated from nature for their ability to decolorize Benazol Black ZN textile dye in comparison to some commercial types of white rot fungi: *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus djamor*, and *Pleurotus citrinopileatus*. *Canadian Journal of Microbiology*, 54(5), 366-370.
<https://doi.org/10.1139/W08-025>
- Kumar, V., & Shah, M. P. (2021). Role of fungi and their enzymes in degradation and decolorization of distillery effluent for environmental safety. In V. K. Sharma, M. P. Shah, S. Parmar, & A. Kumar (Eds.), *Fungi Bio-Prospects in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-technology* (pp. 277-300). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821925-6.00013-7>
- Kunjadia, P. D., Sanghvi, G. V., Kunjadia, A.P., Mukhopadhyay P. N., & Dave, G. S. (2016). Role of ligninolytic enzymes of white rot fungi (*Pleurotus spp.*) grown with azo dyes. *SpringerPlus*, 5, 1487.

<https://doi.org/10.1186/s40064-016-3156-7>

León-Avendaño, H., Martínez-García, R., Caballero-Gutiérrez, P., & Martínez-Carrera, D. (2013). Caracterización de dos cepas de *Pleurotus djamor* nativas de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (6), 1285-1291. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128353019>

Lopes, L. S., Vieira, N., da Luz, J. M. R., Marliane de Cássia, S. S., Cardoso, W. S., & Kasuya, M. C. M. (2020). Production of fungal enzymes in Macaúba coconut and enzymatic degradation of textile dye. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101651. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101651>

Manzano-León, A. M., Ramos-Leal, M., Domínguez-Guilarte, O., Sánchez-López, M. I., China-Borrell, R., Batista-Utría, A., Cabarroi-Hernández, M., Jiménez-Romero, L., Alfonso-González, M., & Guerra-Rivera, G. (2011). Isolation and selection of white-rot fungi for decolourisation of industrial dyes. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 42(1), 17-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181221683004>

Messner, K., & Srebotnik, E. (1994). Biopulping: An overview of

developments and environmentally safe paper-making technology. *FEMS Microbiology Reviews*, 13(2-3), 351-364. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00054.x>

Misra, M., Akansha, K., Sachan, A., & Sachan, S. G. (2020). Removal of Dyes from Industrial Effluents by Application of Combined Biological and Physicochemical Treatment Approaches. In M. Shah & A. Banerjee (Eds.), *Combined Application of Physico-Chemical & Microbiological Processes for Industrial Effluent Treatment Plant* (pp. 365-407). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0497-6_17

Naidu, S. A. (2019). Preliminary study and first evidence of presence of microplastics and colorants in green mussel, *Perna viridis* (Linnaeus, 1758), from southeast coast of India. *Marine pollution bulletin*, 140, 416-422. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.024>

Ogbodo, U. O., & Ugwuanyi, J. O. (2017). Production, Use, and Prospects of Microbial Food Colorants. In A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Microbial Production of Food Ingredients and Additives* (pp. 189-216). Academic Press.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811520-6.00007-6>
- Pavithra, K. G., P., S. K., V., J., & P., S. R. (2019). Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 75, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.02.011>
- Ralph, J. P., & Catcheside, D. E. A. (2002). Biodegradation by White-Rot Fungi. In H. D. Osiewacz (Ed.), *Industrial Applications* (pp. 303-326). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-10378-4_15
- Rojas, J., & Hormaza, A. (2016). Evaluación de la biodegradación del colorante azul brillante utilizando hongos de la podredumbre blanca y sus consorcios. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 179-187.
- Rosu, C. M., Avadanei, M., Gherghel, D., Mihasan, M., Mihai, C., Trifan, A., ... & Vochita, G. (2018). Biodegradation and detoxification efficiency of azo-dye reactive orange 16 by *Pichia kudriavzevii* CR-Y103. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 15. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3668-y>
- Rubilar-Araneda, O. (2007). Biorremediación de suelos contaminados con pentaclorofenol (PCF) por hongos de pudrición blanca [PhD Thesis]. Temuco, Chile: Universidad de la Frontera.
- Ruiz, S. (2011). Evaluación de la remoción del colorante Índigo utilizado en empresas dedicadas a la producción de telas tipo DENIM empleando *Pleurotus ostreatus* como modelo biológico. [Master Thesis]. Universidad de la Sabana.
- Shivalkar, S., Singh, V., Sahoo, A. K., Samanta, S. K., & Gautam, P. K. (2021). Bioremediation: A potential ecological tool for waste management. In V. Kumar, G. Saxena, & M. P. Shah (Eds.), *Bioremediation for Environmental Sustainability* (pp. 1-21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820318-7.00001-0>
- Singh, M. P., Vishwakarma, S. K., & Srivastava, A. K. (2013). Bioremediation of direct blue 14 and extracellular ligninolytic enzyme production by white rot fungi: *Pleurotus* spp. *BioMed research international*, 2013, 180156. <https://doi.org/10.1155/2013/180156>
- Tyagi, B., & Kumar, N. (2021). Bioremediation: Principles and applications in environmental management.

- In G. Saxena, V. Kumar, & M. P. Shah (Eds.), *Bioremediation for Environmental Sustainability* (pp. 3-28). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820524-2.00001-8>
- Wang, M., Chen, S., Jia, X., & Chen, L. (2021). Concept and types of bioremediation. In M. Hasanuzzaman & M. N. V. Prasad (Eds.), *Handbook of Bioremediation* (pp. 3-8). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00001-6>
- Wittong, C., Montalvo, D., Rosero, E., & Dustet, J. (2019). Biodegradación de colorantes industriales con extractos enzimáticos obtenidos en sistemas FES y FEL con *Pleurotus djamor*.
- Xin, F., & Geng, A. (2011). Utilization of horticultural waste for laccase production by *Trametes versicolor* under solid-state fermentation. *Applied biochemistry and biotechnology*, 163(2), 235-246.
<https://doi.org/10.1007/s12010-010-9033-x>
- Yesilada, O., Birhanli, E., & Geckil, H. (2018). Bioremediation and Decolorization of Textile Dyes by White Rot Fungi and Laccase Enzymes. In R. Prasad (Ed.), *Mycoremediation and Environmental Sustainability: Volume 2* (pp. 121-153). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-77386-5_5
- Zabel, R. A., & Morrell, J. J. (2020). Chemical changes in wood caused by decay fungi. In R. A. Zabel & J. J. Morrell (Eds.), *Wood Microbiology* (Second Edition) (pp. 215-244). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819465-2.00008-5>
- Zollinger, H. (2003). *Color Chemistry: Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments*. John Wiley & Sons.