

Remoción de colorantes reactivos empleando el hongo *Bjerkandera adusta*¹

Removing reactive dyes using fungus *Bjerkandera adusta*¹

Recibido: 23- 9 - 2016 Aceptado: 19-11-2017

John Fredy Holguín Múnera²
 Andrey Esneider Escobar Oquendo³
 Rocío del Pilar Monroy Rodríguez⁴
 Gloria Margely Muñoz Marín⁵

Resumen

La manufactura de textiles para Colombia representa una importante actividad económica, con una participación en exportaciones del 6% y genera ventas de productos no tradicionales alrededor de un 13%. Esta industria utiliza alrededor del 15% del total del agua empleada para labores industriales, desechando alrededor de 170.000 toneladas de aguas residuales por año en Colombia. Entre los impactos ambientales que genera el sector, se destaca la contaminación sobre aguas causada en las etapas de tintura; esta se da principalmente debido a que los colorantes empleados tienen rangos de fijación entre el 65% y el 80%. En la etapa inicial de esta investigación, se determinaron los parámetros de caracterización del agua según el decreto 0631 de 2015 a los efluentes provenientes del proceso de teñido; se tuvieron en cuenta parámetros como: alcalinidad, dureza, DBO, DQO, conductividad, sólidos y oxígeno disuelto. Se realizaron revisiones bibliográficas con el fin de establecer el potencial de diferentes tipos de microorganismos, los cuales abarcan desde bacterias aerobias, anaerobias y hongos de pudrición blanca. En la ejecución de esta investigación se trabajará con el hongo de la pudrición blanca *B. adusta*, debido a que es capaz de degradar sustratos complejos a través de un sistema enzimático específico para cada familia de colorantes. Posteriormente se realizó la selección del medio de cultivo que más promoviera el proceso de degradación de los colorantes reactivos; los medios evaluados fueron el Kirk, Zouari-Mechichi y el Park-Robinson. De los tres, el que tuvo mejores resultados fue el medio Park Robinson. Por último, se evaluó la remoción de colorantes en aguas residuales sintéticas. Las remociones obtenidas para la familia de colorantes reactivos de la familia Bezaktiv (colorantes vinilsulfónicos) fueron: 30% para el Bezaktiv azul V-2B 133, para el Bezaktiv amarillo V-5 GL 91% y para el Bezaktiv rojo V-5B 74 %.

Palabras clave: Colorantes reactivos; hongos ligninolíticos; degradación.

¹ Este artículo es producto de una investigación terminada y los resultados fueron tomados de la ejecución del Proyecto: "Fortalecimiento del Sistema de Investigación Aplicada del CTGI. mediante el proyecto: "Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de los procesos de teñido con colorantes reactivos y colorantes directos del sector textil". El proyecto se inició el 04-01 de 2015 y finalizó 30-12-2015 y fue financiado por SENNOVA dentro de la línea Investigación Aplicada.

² Colombiano Msc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Textil y de Gestión Industrial, Medellín, Colombia. Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ), * Autor de correspondencia: johnfh23@gmail.com

³ Colombiano Msc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Textil y de Gestión Industrial (SENA), Medellín, Colombia. Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ). e-mail: escobar.andrey@gmail.com.

⁴ Colombiana Ing. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Textil y de Gestión Industrial (SENA), Medellín, Colombia. Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ). e-mail: rpmrodriguez@misena.edu.co.

⁵ Colombiana Tecnóloga. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Textil y de Gestión Industrial (SENA), Medellín, Colombia. Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ). e-mail: geli1062008@gmail.com

Abstract

The manufacture of textiles in Colombia represents an important economic activity, with a participation in 6% of exports and generates sales of non-traditional products around 13%. This industry uses about 15% of the total water used for industrial work, discarding about 170,000 tons of wastewater per year in Colombia. The contamination caused in the dyeing stages is highlighted, since the dyes used have a fixing range between 68 and 80%. Initially, in the development of this project, the physicochemical and microbiological composition of the effluents from the dyeing process of the textile sector was determined, for which parameters such as alkalinity, hardness, BOD, COD, conductivity, solids and dissolved oxygen were taken into account. At the same time, the removal of dyes from synthetic wastewater was evaluated, using the white rot fungus *Bjerkandera adusta*. The removals obtained for the family of reactive dyes from the Bezaktiv family (vinylsulfonic dyes) were 30% for the blue V-2B 133 dye Bezaktiv, for the yellow dye V-5 GL was 91% for the red dye Bezaktiv V-5B was 74% using for the three media the Park-Robinson medium.

Keywords: dyeing reactive; hongos ligninolíticos; degradación.

Introducción

La manufactura de textiles para Colombia ha sido a lo largo de la historia una importante actividad económica, en el año 2014 representó el 9,2% de la industria manufacturera. Por su parte, el EBITDA (*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization*), se incrementó en un 12,4% en el año 2014 frente al 2013, al pasar de \$279.322 millones a \$313.955 millones, lo cual indica una mayor eficiencia de los ingresos por ventas. (Superintendencia de Sociedades, 2015)

Dicha industria utiliza alrededor del 15% del total de agua empleada para labores industriales. La obtención del textil con sus diversas tonalidades y acabados genera aproximadamente 170.000 toneladas de agua residual por año en Colombia. Estas aguas contienen ceras, grasas, pectinas propias de la fibra, encolantes adicionados en las etapas de hilado y tejido, auxiliares y colorantes de las etapas de preparación y teñido del sustrato (De Jager, Sheldon y Edwards, 2014). En Colombia la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, regula la descarga de efluentes de la industria textil sobre los cuerpos de agua (Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), sin embargo, en esta no se hace mención específica a los valores exigidos de descarga de colorantes. Vale la pena mencionar que en la resolución 2016 del 26 de octubre del año 2012 expedida por el Área Metropolitana de Medellín, se hace mención y se indican las concentraciones de color permitidas (50-75 unidades Pt-Co) en los efluentes provenientes del sector textil (Área Metropolitana, 2012).

Los colorantes no fijados en la etapa de tintura, representan un factor importante en la contaminación del agua, ya que en el proceso de teñido con colorantes reactivos se fija entre el 60-80% (Kumar, Raut, Bandyopadhyay y Raut, 2016; Ruiz, 2011). La presencia de colorantes en el agua reduce el paso de la luz solar, lo que puede generar desequilibrio en los ecosistemas acuáticos y provocar desagradables efectos visuales en el paisajismo natural (Osorio, Vidal, y Quintero, 2011).

Para reducir los problemas mencionados anteriormente, se han propuesto alternativas de tratamiento que involucran procesos biológicos los cuales han mostrado un gran potencial debido a que son eficientes, amigables con el medio ambiente y atractivos económicamente (Anastasi *et al.*, 2010). Diferentes estudios muestran la capacidad que tienen los hongos de la pudrición blanca de la madera debido a que poseen un sistema oxidativo que exhibe un alto grado de especificidad, permitiéndoles degradar un amplio número de compuestos recalcitrantes además de la lignina (Anastasi *et al.*, 2010; Barrasa *et al.*, 2014). Actualmente se utilizan sistemas aerobios y anaerobios, con hongos y bacterias para la decoloración y mineralización de los colorantes presentes en dichas aguas (Kumar *et al.*, 2016; Senthilkumar, Perumalsamy y Prabhu, 2014). Al aplicarse este tipo de tratamientos bióticos los contaminantes generalmente son metabolizados por los microorganismos mediante reacciones bioquímicas de tipo oxidación-reducción, aunque también pueden realizar reacciones de hidroxilación, hidrólisis, deshalogenación y desalquilación (Kumar *et al.*, 2016).

Los hongos pueden degradar compuestos orgánicos complejos por medio de la producción de enzimas de tipo ligninolíticas extracelulares, las más reportadas son: lacasas, manganeso-peroxidasas y peroxidasas (Singh, Singh, y Singh, 2015; Tuomela y Hatakka, 2011); se ha confirmado que muchas especies de hongos como *Pleurotus ostreatus*, *Pichia sp.*, *Penicillium sp.* y *Candida tropicalis*, realizan una adsorción de colorantes sobre su superficie pero no una degradación química (Kumar *et al.*, 2016; Taha, Adetutu, Shahsavari, Smith, y Ball, 2014). Entre los diferentes tipos de hongos, *Phanerochaete chrysosporium* y *Bjerkandera*

adusta son microorganismos eficaces para realizar procesos de degradación de colorantes, ambos han sido reportados ampliamente como modelos en la remediación de efluentes de textiles debido a que pueden remover más del 75% de los colorantes reactivos de los efluentes (Knapp, Newby, y Reece, 1995; Osorio *et al.*, 2011). Por otro lado *P. chrysosporium* posee la capacidad de degradar compuestos complejos como el almidón, la celulosa, la pectina, la lignina, que son sustancias que se encuentran en los efluentes de la industria textil (Podgornik, Grgić, y Perdih, 1999; Kirk *et al.*, 1990). Por lo tanto, para el sector textil sigue siendo una necesidad plantear alternativas y soluciones ambientales que propendan a controlar la carga contaminante de sus vertimientos, es por esto que en este trabajo se realizó una evaluación del potencial que tiene el hongo *Bjerkandera adusta* para remover colorantes reactivos, debido a que es capaz de degradar sustratos complejos a través de un sistema enzimático específico para cada familia de colorante, según lo reportan (Anastasi *et al.*, 2010; Eichlerova, Homolka, y Nerud, 2007; Heinfling, Martínez, Martínez, Bergbauer, y Szewzyk, 1998; Tuomela y Hatakka, 2011; Valentin *et al.*, 2007).

Esta evaluación a futuro podrá contribuir con la disminución del impacto ambiental causado sobre las fuentes hídricas de la región por los efluentes textiles.

Materiales y métodos

Colorantes

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los colorantes reactivos Bezaktiv azul V-2B 133 ($\lambda= 600$ nm), Bezaktiv amarillo V-5 GL ($\lambda= 410$ nm), Bezaktiv rojo V-5B ($\lambda= 510$ nm), pertenecientes a la familia de colorantes vinilsulfónicos, estos fueron suministrados por la empresa CHT BEZEMA, la cual nos indicó que son empleados ampliamente por las industrias del sector textil en la ciudad de Medellín, Colombia.

Métodos analíticos

• Cuantificación de crecimiento y degradación de color en medio sólido

Se tomaron mediciones de los diámetros de halos de degradación y crecimiento cada 12 horas con una regla graduada. Este procedimiento se siguió hasta la completa colonización o decoloración de la caja, los datos se obtuvieron por triplicado para cada colorante.

• Determinación de biomasa

Se empleó la técnica de peso seco, se tomaron muestras de 4 mL las cuales se filtraron y secaron a 105°C hasta obtener peso constante.

• Determinación del grado de decoloración

Cada muestra se centrifugó a 10000 rpm durante 10 minutos, en el sobrenadante se leyó absorbancia en un espectrofotómetro, según la longitud característica de cada colorante; la concentración del colorante se obtuvo mediante una curva de calibración concentración de colorante (g/L) vs absorbancia elaborada previamente. Los datos se obtuvieron por triplicado para cada colorante.

• Parámetros fisicoquímicos determinados a las muestras de aguas residuales

Para realizar la elección de parámetros a determinar en los efluentes, se tuvo en cuenta lo reportado por Kumar *et al.* (2016) y la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, estos mencionan parámetros como: oxígeno disuelto (OD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), pH, temperatura, alcalinidad, conductividad y salinidad. La determinación de estos parámetros se realizó según los protocolos del IDEAM TP 0436, TP0088, TP0080, TP0211, TP0084, TP 0082.

• Microorganismos

Se realizaron revisiones bibliográficas con el fin de establecer el potencial de diferentes tipos de microorganismos, los cuales abarcan desde bacterias aerobias, anaerobias y hongos de pudrición blanca (Knapp, 1995) estos últimos presentan una gran capacidad de degradación de colorantes de tipo Azo (Ghodake, Jadhav, Dawkar, y Govindwar, 2009), trifenilmetanos, colorantes poliméricos sulfonados (Joshi, Iyengar, Singh, y Garg, 2008), antraquinonas (Kabbout y Taha, 2014). Estas propiedades y las descritas anteriormente en la introducción, fueron las que tomamos como parámetros de selección para trabajar con el hongo *Bjerkandera adusta*, este fue donado por el grupo de bioprocesos, adscrito al departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia. Para la activación de las cepas fue empleado el medio Kirk modificado (Kirk *et al.*, 1990), el cual consta ($g L^{-1}$): glucosa 10, peptona 2, tiamina 2, cloruro de calcio 0,1, trazas de sales 100 mL L^{-1} a un pH de 4,5. El medio de mantenimiento de la cepa fue el Agar-Papa- Dextrosa (PDA) de la casa Merck®, para ambos medios la temperatura de incubación fue de 30 °C.

• Selección de medios de degradación:

Se evaluaron tres medios, los cuales han sido empleados para la degradación de colorantes por diferentes autores: medio Kirk (Cardona, Osorio, y Quintero, 2009; Kirk *et al.*, 1990; Osorio *et al.*, 2011), medio Zouari (Zouari-Mechichi *et al.*, 2006) isolated from decayed acacia wood (from Northwest of Tunisia, y el medio Park-Robinson (Robinson, McMullan, Marchant, y Nigam, 2001). El efecto que tiene el medio sobre la degradación de los tres colorantes se realizó sobre medio sólido. La evaluación consistió en evaluar cada colorante en cada medio de cultivo a una concentración de 125 ppm, según Cardona *et al.* (2009) a concentraciones mayores el hongo se puede inhibir, cada caja fue inoculada con un disco de 7 mm de micelio del hongo *B. adusta*, este micelio se ubicó en el centro de la caja Petri. También se evaluó la presencia de aserrín en el medio como agente elicitador debido a que las enzimas ligninasas no son constitutivas y requieren ser inducidas por el medio de crecimiento (Kirk *et al.*, 1990; Robinson *et al.*, 2001). Todo esto se realizó en condiciones de esterilidad, asepsia y por triplicado.

• Inóculo de degradación

El inóculo para cada Erlenmeyer consistió en 4 círculos de 7 mm de diámetro, tomados de una caja de Petri incubada a 30°C por un tiempo de 7 días.

• Evaluación de degradación en medio líquido sintético, sistema batch

Una vez seleccionado el medio de cultivo, se determinó la cinética de degradación de los tres colorantes por el hongo *B. adusta* en medio líquido. Los montajes cultivo se realizaron en un Erlenmeyer de 250 mL con un volumen de trabajo de 200 mL, a una temperatura de 30°C, una agitación de 150 rpm, un pH de 4,5 y se tomó como concentración de colorante 125 ppm; este valor ha sido reportado por diferentes autores como una concentración inhibitoria para el hongo (Cardona *et al.*, 2009; Osorio *et al.*, 2011; Senthilkumar *et al.*, 2014; Taha *et al.*, 2014); se tomaron muestras cada dos días, para cada una se determinó la concentración de colorante por medio de la técnica de grado de decoloración mencionada anteriormente.

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos determinados a las muestras de aguas residuales

La caracterización se realizó sobre muestras de efluente del proceso textil obtenido en el laboratorio de tintorería del CTGI. Los parámetros fisicoquímicos se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del efluente que sale de los procesos de teñido Selección del medio de cultivo.

Caracterización Efluente Textil	
Alcalinidad (ppm)	744
O.D. (ppm)	3,51
pH	11,78
Temperatura (°C)	37
Conductividad	45.700
%O.D.	47
Salinidad	29,73
ST (ppm)	22.808
SST (ppm)	207
DBO (mgO ₂ /L)	574
DQO (mgO ₂ /L)	2048

Fuente: Los Autores

Selección del medio de cultivo

Se evaluaron los medios Park-Robinson, Kirk, y Zouari-Mechichi. En la Figura 1. se presentan los resultados de las evaluaciones de los medios de cultivo y su comportamiento en presencia o ausencia del elicitador (aserrín 2 gL⁻¹). Se observó que para el segundo día la degradación de colorante era aproximadamente de un 80% en el medio Park-Robinson, esto se calculó con el diámetro de degradación medido. La degradación total de color se presentó para al tercer día de cultivo en las cajas con el medio Park-Robinson más agente elicitador. Las cajas que no tenían agente elicitador se tardaron 7 días para empezar a mostrar actividad degradadora. La presencia del agente elicitador favorece la degradación del colorante al estimular, de manera natural, la producción de enzimas. Este comportamiento está de acuerdo con lo reportado por Barrasa *et al.*, 2014; Hatvani y Mécs, 2002; Osorio *et al.*, 2011, los cuales afirman que este tipo de agentes inducen la producción de enzimas extracelulares.

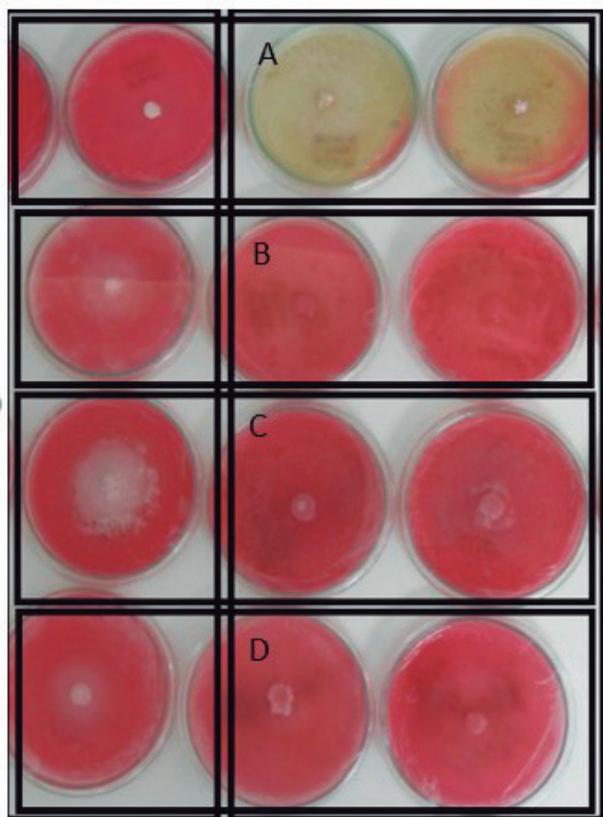


Figura 1. Degradación del colorante Bezaktiv rojo V-5B por parte del hongo *B. adusta* en el segundo día de cultivo. A: Park- Robinson, con aserrín, B: Kirk con aserrín, C: Zouaori-Mechichi con aserrín.

De la Figura 1 se puede inferir que el medio que favorece la degradación de colorante por el hongo *B. adusta* es el medio Park-Robinson. Al analizar los componentes del medio, encontramos sustancias que juegan un papel importante en la degradación de colorantes y que han sido discutidas por algunos autores:

- **Glucosa:** Kumar *et al* (2016) recomiendan concentraciones de glucosa superiores a 5 g/L, ya que la glucosa es la fuente de carbono que sustenta el microorganismo mientras el proceso de degradación, esto debido a que el colorante no es consumido por el hongo en el proceso de degradación. Senthilkumar *et al.*(2014) reportan que un incremento en la concentración de glucosa genera aumento en el crecimiento de la biomasa y la decoloración incrementa en un 0,3%

- **Nitrógeno:** elemento esencial para el crecimiento miceliar y la producción de enzimas, las cuales son las responsables de la ruptura de los enlaces azo. La velocidad de decoloración de las moléculas de colorantes depende de la velocidad de rotura de los enlaces azo (-N=N-) en la molécula de colorante. Con el aumento de la concentración

de nitrógeno de 0,01% a 0,5%, la tasa de decoloración aumenta en un 40% (Senthilkumar *et al.*, 2014). La composición del medio Park-Robinson se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Medio de cultivo Park-Robinson empleado para la suplementación del medio de degradación

Medio	Componentes	Concentración [gL ⁻¹]
Park-Robinson	Glucosa	0,7
	KH ₂ PO ₄	0,2
	NH ₄ NO ₃	0,1
	MgSO ₄ *7H ₂ O	0,5
	Agar-Agar	15
	Aserrín	2

Fuente: Los autores

Con el medio seleccionado Park-Robinson se evaluó la degradación de los colorantes Bezaktiv azul V-2B 133 y Bezaktiv amarillo V-5 GL a una concentración inicial de 125 ppm en medio sólido. La degradación de estos colorantes tuvo un comportamiento muy similar al encontrado para el colorante Bezaktiv rojo V-5B; sin embargo, la degradación tardó un día más (tercer día) al estar en presencia del agente elicitor.

La Figura 2 presenta la degradación de los colorantes Bezaktiv azul V-2B 133 y Bezaktiv amarillo V-5 GL al tercer día de cultivo y en presencia de aserrín.

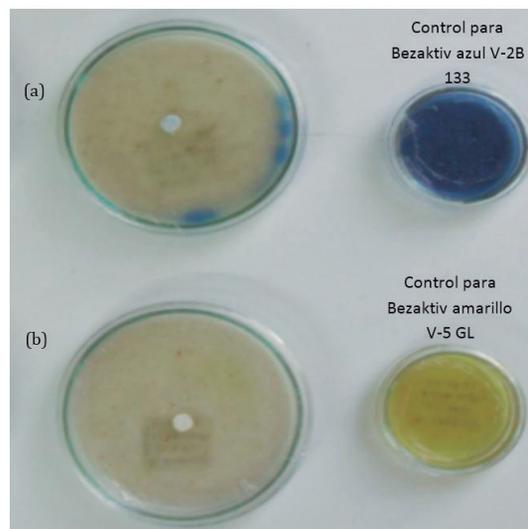


Figura 2. Día 3 de la degradación de los colorantes Bezaktiv azul V-2B 133 (a), Bezaktiv amarillo V-5 GL (b) en medio Park-Robinson con aserrín.

Evaluación de degradación en medio líquido sintético Sistema Batch

• Colorante Bezaktiv amarillo V-5GL

Durante la evaluación de degradación de colorante por el hongo *B. adusta*, pudimos evidenciar la capacidad de adaptación y de degradación que tendría el microorganismo frente al colorante presente en los efluentes. Como resultado de esta evaluación se encontró que el microorganismo fue capaz de crecer y degradar el colorante a concentraciones de 125 ppm.

De la Figura 3 se puede afirmar que el porcentaje máximo de degradación de colorante se da después de transcurridos 18 días de tratamiento y su valor fue del 92%. Anastasi *et al.*(2010) reportan valores de degradación del 90 % para efluentes sintéticos de colorantes reactivos amarillos y degradados con *B. adusta*; Eichlerova *et al.*(2007) reportan valores de degradación del 76% en un tiempo de 28 días cuando se utiliza el hongo *B. adusta*.

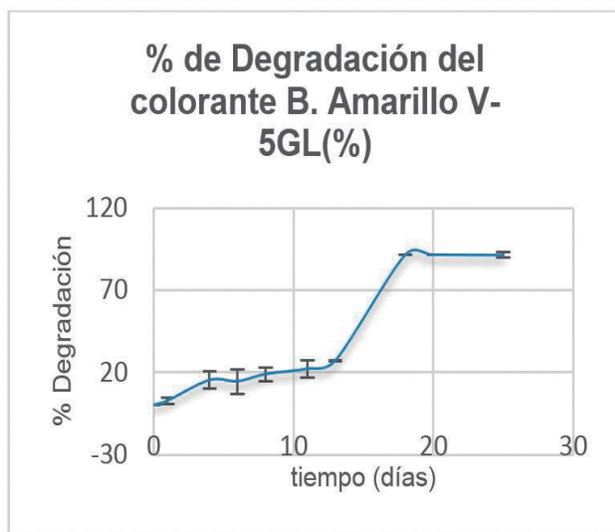


Figura 3. Cinética de degradación del colorante Bezaktiv amarillo V-5 GL, con el hongo *B. adusta*, sobre el medio Park-Robinson.

• Colorante Bezaktiv azul V-2B-133

Como resultado de esta evaluación se puede afirmar que el microorganismo fue capaz de crecer y degradar el colorante a una concentración inicial de 125 ppm.

La Figura 4, se puede observar que el porcentaje de degradación de colorante máximo ocurre después de transcurridos 13 días de tratamiento y el porcentaje máximo de degradación fue del 30%.

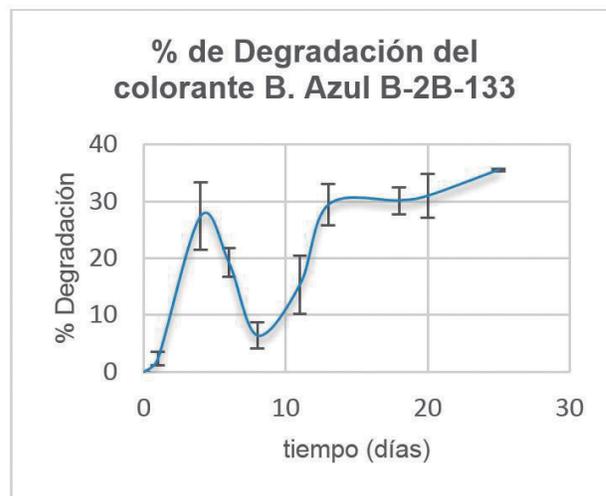


Figura 4. Cinética de degradación del colorante Bezaktiv azul V-2B 133, con el hongo *B. adusta*, sobre el medio Park-Robinson.

En la Figura 4 revela que en el día 4 se presenta un pico máximo de degradación y en el día 8 un valor mínimo de degradación, durante estos mismos días se evidenció en el hongo una coloración azul, la cual posteriormente desapareció. Varios autores han tratado de explicar esto por medio de dos fenómenos: el primero es la absorción de colorante sobre la biomasa, en este el colorante reacciona químicamente con los grupos funcionales OH y C=O de la quitina presente en la pared celular de los hongos (Tuomela y Hatakka, 2011), la otra fracción de colorante que no reacciona con la quitina es liberada nuevamente al medio (Kabbout y Taha, 2014; Robinson *et al.*, 2001). El otro fenómeno se debe principalmente a la tendencia que tienen los colorantes reactivos por adsorberse sobre la superficie del microorganismo, Osorio *et al.*(2011) argumentan que el grado de adsorción del colorante sobre la biomasa del hongo es un mecanismo importante principalmente en presencia de sales, donde puede alcanzar hasta un 36% de la remoción del colorante.

• Colorante Bezaktiv rojo V-5B

Esta evaluación se realiza para la cepa *B. adusta*, se puede decir que el microorganismo fue capaz de degradar el colorante cuando la concentración inicial de colorante fue de 130 ppm.

En la Figura 5, se puede estimar que el porcentaje de degradación de colorante máximo se da después de transcurridos 18 días de tratamiento y el porcentaje máximo de degradación fue del 75%.

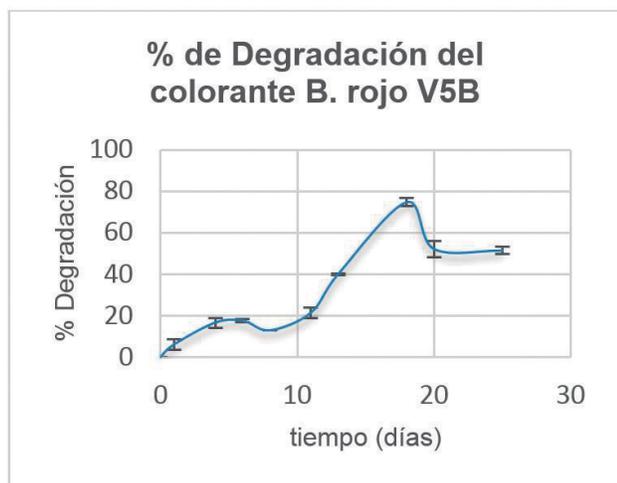


Figura 5. Cinética de degradación del colorante Bezaktiv rojo V-5B con el hongo *B. adusta*, sobre el medio Park-Robinson.

El tiempo de adaptación en el efluente fue de 8 días. El cambio de pendiente que se da en la fase exponencial (entre los días 13 y 18) ha sido reportado como un cambio en el mecanismo de degradación que tiene el microorganismo, esto se debe principalmente a la producción de otro grupo de enzimas que realizarían el mismo efecto de degradación sobre el colorante según lo reportan Ghodake *et al.*, (2009), Barrasa *et al.*, (2014).

Conclusiones

El hongo *Bjerkandera adusta*, tiene la capacidad de decolorar efluentes de la industria textil, en este caso particular; colorantes reactivos de tipo vinilsulfónicos. De los tres colorantes evaluados el que presentó mayor porcentaje de degradación fue el amarillo Bezaktiv V-5GL con un porcentaje del 91%.

Teniendo en cuenta que las concentraciones a las cuales el microorganismo presentó crecimiento y capacidad degradadora se encuentran muy por debajo de las concentraciones que puede tener un efluente textil real, se recomienda utilizar un proceso combinado (tratamiento físico o químico) en primer lugar; de manera que se disminuya la concentración de colorante hasta valores cercanos a las 150 ppm y posteriormente un proceso biotecnológico.

El proceso de adsorción del colorante en la superficie del hongo puede aumentar el porcentaje de degradación en un 25%, esto se puede ver favorecido por la presencia de sales inorgánicas.

Bibliografía

- Anastasi, A., Spina, F., Prigione, V., Tigini, V., Giansanti, P., y Varese, G. (2010). Scale-up of a bioprocess for textile wastewater treatment using *Bjerkandera adusta*. *Bioresource Technology*, 101(9), 3067–3075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.067>
- Area Metropolitana Valle de Aburrá. (2012). Resolución metropolitana 002016 de octubre 26 de 2012. Medellín, Colombia. Recuperado de http://www.metropol.gov.co/RecursoHidrico/dlNormatividad/Resolucion_002016_octubre_26_2012.pdfS_DE_CALIDAD.pdf
- Barrasa, J. M., Blanco, M. N., Esteve-Raventós, F., Altés, A., Checa, J., Martínez, A. T., & Ruiz-Dueñas, F. J. (2014). Wood and humus decay strategies by white-rot basidiomycetes correlate with two different dye decolorization and enzyme secretion patterns on agar plates. *Fungal genetics and biology*, 72, 106-114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2014.03.007>
- Cardona, M., Osorio, J., y Quintero, J. (2009). Degradación de colorantes industriales con hongos ligninolíticos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 48, 27–37.
- De Jager, D., Sheldon, M. S., y Edwards, W. (2014). Colour removal from textile wastewater using a pilot-scale dual-stage MBR and subsequent RO system. *Separation and Purification Technology*, 135, 135-144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.08.008>
- Eichlerova, I., Homolka, L., y Nerud, F. (2007). Decolorization of high concentrations of synthetic dyes by the white rot fungus *Bjerkandera adusta* strain CCBAS 232. *Dyes and Pigments*, 75(1), 38-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.008>
- Ghodake, G., Jadhav, S., Dawkar, V., y Govindwar, S. (2009). Biodegradation of diazo dye Direct brown MR by *Acinetobacter calcoaceticus* NCIM 2890. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(4), 433-439. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.12.002>

- Hatvani, N., y Mécs, I. (2002). Effect of the nutrient composition on dye decolorisation and extracellular enzyme production by *Lentinus edodes* on solid medium. *Enzyme and microbial technology*, 30(3), 381-386. doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00512-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00512-9)
- Heinfling, A., Martínez, M. J., Martínez, A. T., Bergbauer, M., y Szewzyk, U. (1998). Purification and characterization of peroxidases from the dye-decolorizing fungus *Bjerkandera adusta*. *FEMS Microbiology Letters*, 165(1), 43-50. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1998.tb13125.x>
- Joshi, T., Iyengar, L., Singh, K., y Garg, S. (2008). Isolation, identification and application of novel bacterial consortium TJ-1 for the decolorization of structurally different azo dyes. *Bioresource technology*, 99(15), 7115-7121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.074>
- Kabbout, R., y Taha, S. (2014). Biodecolorization of textile dye effluent by biosorption on fungal biomass materials. *Physics Procedia*, 55, 437-444. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.07.063>
- Kirk, T., Tien, M., Kersten, P. J., Kalyanaraman, B., Hammel, K. E., & Farrell, R. L. (1990). Lignin peroxidase from fungi: *Phanerochaete chrysosporium*. In *Methods in Enzymology* (Vol. 188, pp. 159-171). [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(90\)88029-A](https://doi.org/10.1016/0076-6879(90)88029-A)
- Knapp, J. S., Newby, P. S., & Reece, L. P. (1995). Decolorization of dyes by wood-rotting basidiomycete fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 17(7), 664-668. doi: [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(94\)00112-5](https://doi.org/10.1016/0141-0229(94)00112-5)
- Kumar, S., Raut, S., Bandyopadhyay, P., y Raut, S. (2016). Fungal decoloration and degradation of azo dyes : a review. *Fungal Biology Reviews*, 30(3), 112-133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.003>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1700:minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>
- Osorio, J., Vidal, A., y Quintero, J. C. (2011). Decoloración de aguas residuales textiles utilizando el hongo ligninolítico anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 57, 85-93.
- Podgornik, H., Grgić, I., y Perdih, A. (1999). Decolorization rate of dyes using lignin peroxidases of *Phanerochaete chrysosporium*. *Chemosphere*, 38(6), 1353-1359. doi: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00537-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00537-2)
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., y Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247-255. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00080-8)
- Ruiz, S. E. (2011). *Evaluación de la remoción del colorante INDIGO utilizado en empresas dedicadas a la producción de telas tipo DENIM empleando a *Pleurotus ostreatus* como modelo biológico* (Tesis de Maestría). Universidad de la Sabana, Bogotá, Colombia.
- Senthilkumar, S., Perumalsamy, M., y Prabhu, H. J. (2014). Decolorization potential of white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* on synthetic dye bath effluent containing Amido black 10B. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(6), 845-853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.10.010>
- Singh, R. L., Singh, P. K., y Singh, R. P. (2015). International Biodeterioration & Biodegradation Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes e A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104, 21-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.027>

- Superintendencia de Sociedades. (2015). *Desempeño del sector textil-confección 2012-2014*. Recuperado de [http://www.supersociedades.gov.co/noticias/Documents/2015/Septiembre/EE1- Sector Textil- 2015 VIII 14.pdf](http://www.supersociedades.gov.co/noticias/Documents/2015/Septiembre/EE1-Sector Textil- 2015 VIII 14.pdf)
- Taha, M., Adetutu, E. M., Shahsavari, E., Smith, A. T., y Ball, A. S. (2014). Azo and anthraquinone dye mixture decolorization at elevated temperature and concentration by a newly isolated thermophilic fungus, *Thermomucor indicae-seudaticae*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 415-423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.01.015>
- Tuomela, M., y Hatakka, A. (2011). Oxidative Fungal Enzymes for Bioremediation. *Comprehensive Biotechnology*, 6(Segunda edición), 183-196. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00370-6>
- Valentin, L., Lu-Chau, T. A., Lopez, C., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Lema, J. M. (2007). Biodegradation of dibenzothiophene, fluoranthene, pyrene and chrysene in a soil slurry reactor by the white-rot fungus *Bjerkandera* sp. BOS55. *Process Biochemistry*, 42(4), 641-648. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.11.011>
- Zouari-Mechichi, H., Mechichi, T., Dhoub, A., Sayadi, S., Martínez, A. T., & Martínez, M. J. (2006). Laccase purification and characterization from *Trametes trogii* isolated in Tunisia: decolorization of textile dyes by the purified enzyme. *Enzyme and Microbial Technology*, 39(1), 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.11.027>