

## Estudio de la degradación de efluentes de los procesos de teñido con colorantes directos empleando métodos biotecnológicos

John Fredy Holguín Múnera<sup>1</sup>

Andrey Esneider Escobar Oquendo<sup>2</sup>

Rocío del Pilar Monroy Rodríguez<sup>3</sup>

Gloria Margely Muñoz Marín<sup>4</sup>

### RESUMEN

El sector textil-confección ha tenido un desarrollo importante a nivel mundial y nacional, considerándose una de las actividades más antiguas e influyentes en el desarrollo industrial del país por sus grandes contribuciones en el empleo y la economía en general. Para el año 2016, el sector textil confección representó el 8,8% en el PIB de la industria manufacturera. Se estima que el volumen medio de consumo de agua en los procesos de descrudado, blanqueo, tintura, estampado y acabado se sitúa, en promedio, alrededor de los 150 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de tejido. Otros autores afirman que se necesitan aproximadamente 11.000 litros de agua para producir 1 kg de tejido de algodón. Entre los principales contaminantes de la industria textil se encuentran los colorantes no fijados, se puede afirmar que durante los procesos de teñido con colorantes directos solo se fija entre el 64 y el 75% del colorante inicial. 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 directos de la familia Tubantin fueron: 65% para el Tubantin Azul 2RL 200, para el Tubantin amarillo GR 37% y para el Tubantin Rosa 2B 68%.

*Palabras clave:* colorantes reactivos; hongos ligninolíticos; degradación

### ABSTRACT

The textile-clothing sector has had an important development worldwide and nationally, considering one of the oldest and most influential activities in the industrial development of the country for its great contributions in employment and the economy in general. For the year 2016, the garment textile sector represented 8.8% of the GDP of the manufacturing industry. It is estimated that the average volume of water consumption in the processes of scouring, bleaching, dyeing, stamping and finishing is, on average, around 150 m<sup>3</sup> of water per ton of fabric. Other authors state that approximately 11,000 liters of water are needed to produce 1 kg of cotton fabric. Among the main pollutants of the textile industry are the unfixed dyes, it can be stated that during dyeing processes with direct dyes only between 64 and 75% of the initial dye is fixed. In the ini-

<sup>1</sup> Ingeniero Químico, MSc. en Ingeniería Obtención de Etanol a Partir de las Fracciones Polisacarídicas del Bagazo de Sorgo Dulce, Doctorado en Biotecnología, Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ), johnfh23@gmail.com

<sup>2</sup> MSc. Servicio Nacional de Aprendizaje Sena, Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ), escobar.andrey@gamil.com

<sup>3</sup> Ingeniera Química, Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ), rpmrodriguez@misena.edu.co

<sup>4</sup>

tial stage of this investigation, the water characterization parameters according to decree 0631 of 2015 were determined to the effluents coming from the dyeing process; parameters such as: alkalinity, hardness, BOD, COD, conductivity, solids and dissolved oxygen were taken into account. Bibliographic reviews were carried out in order to establish the potential of different types of microorganisms, which range from aerobic bacteria, anaerobes and white rot fungi. In the execution of this research we will work with the white rot fungus *B. Adusta* because it is capable of degrading complex substrates through a specific enzymatic system for each family of dyes. Subsequently, the selection of the culture medium that promoted the degradation process of the reactive dyes was carried out; the means evaluated were Kirk, Zouari-Mechichi and Park-Robinson. Of the three, the one that had the best results was Park Robinson. Finally, the removal of dyes in synthetic wastewater was evaluated. The removals obtained for the family of direct dyes of the Tubantin family were: 65% for the Tubantin Blue 2RL 200, for the Tubantin yellow GR 37% and for the Tubantin Rosa 2B 68%.

*Keywords: reactive dyes; ligninolytic fungi; degradation.*

## I. INTRODUCCIÓN

El sector textil-confección ha tenido un desarrollo importante a nivel mundial y nacional, considerándose una de las actividades más antiguas e influyentes en el desarrollo industrial del país por sus grandes contribuciones en el empleo y la economía en general. Para el año 2016, el sector textil confección representó el 8,8% en el PIB de la industria manufacturera (Sociedades, 2017).

La industria textil consume una gran cantidad de agua en cada uno de sus procesos productivos entre los que se encuentran: la producción de fibras textiles, procesos de tintura y procesos de acabado debido a que se utiliza el agua como medio de transporte para la aplicación de colorantes y otras sustancias (ceras, grasas, pectinas propias de la fibra, encolantes adicionados en las etapas de hilado y tejido, auxiliares de las etapas de preparación del sustrato) (Jager, Sheldon, & Edwards, 2014). Se estima que el volumen medio de consumo de agua en los procesos de descruado, blanqueo, tintura, estampado y acabado se sitúa, en promedio, alrededor de los 150 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de tejido. Otros autores afirman que se necesitan aproximadamente 11.000 litros de agua para producir 1 kg de

tejido de algodón (Carrera Gallissà, 2017). Para el caso específico de Colombia la obtención del textil con sus diversas tonalidades y acabados genera aproximadamente 170.000 toneladas de agua residual por año (Holguín, Escobar, Monroy, & Muñoz, 2017). Entre los principales contaminantes de la industria textil se encuentran los colorantes no fijados, se puede afirmar que durante los procesos de teñido con colorantes directos solo se fija entre el 64 y el 75% del colorante inicial (Ruiz, 2011) (Kumar, Raut, Bandyopadhyay, & Raut, 2016) (Afirm, 2013). La presencia de colorantes no fijados reducen el paso de la luz solar en el agua, lo que puede generar desequilibrio en los ecosistemas acuáticos y provocar desagradables efectos visuales en el paisajismo natural (Osorio, Vidal, & 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 poseen 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 (Barrasa et al., 2014) (Anastasi et al., 2010) (Kumar et al., 2016) (Senthilkumar, Perumalsamy, & Prabhu, 2014) (Rodríguez Couto, 2009) Al aplicarse este tipo de tratamientos bióticos los contaminantes generalmente son metabolizados por los microorganismos mediante reacciones bioquímicas de tipo oxido-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, & Singh, 2015) (Tuomela & Hatakka, 2011).

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 y directos de los efluentes (Knapp, Newby, & 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, & Perdih, 1999) (T. Kirk et al., 1990) (Rodríguez Couto, 2009)

Teniendo en cuenta la problemática planteada, para el sector textil, se hace necesaria la búsqueda de alternativas de solución a los problemas ambientales que generan sus vertimientos, es por esto, que en este trabajo se realizó una evaluación del potencial que tiene el hongo *Bjerkandera adusta* para remover colorantes directos, se escoge este microorganismo debido a que es capaz de degradar sustratos complejos a través de un sistema enzimático específico para cada familia de colorante, según lo reporta (Anastasi, 2010) (Tuomela & Hatakka, 2011) (Valentín, 2007) (Homolka, 2007) (Mart, Y, Bergbauer, & Szewzyk, 1998). Esta evaluación a futuro podrá contribuir con la disminución del impacto ambiental causado sobre las fuentes hídricas de la región por los efluentes textiles.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Colorantes

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los colorantes directos Tubantin azul 2RL 200 ( $\lambda = 600$  nm), Tubantin amarillo GR ( $\lambda = 410$  nm), Tubantin Rosa 2B ( $\lambda = 510$  nm), 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

#### 1. *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.

## 2. *eterminación 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.

## 3. *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.

# III. DESARROLLO DEL TRABAJO

## A. **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 (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.

## *Microorganismo*

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 estos últimos presentan una

gran capacidad de degradación de colorantes de tipo Azo y directos (Knapp, 1995). El hongo *Bjerkandera adusta*, 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 (T. K. Kirk et al., 1990) el cual consta (g L<sup>-1</sup>): glucosa 10, peptona, tiamina 2, cloruro de calcio 0,1, trazas de sales 100 mL L<sup>-1</sup> 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 medios de degradación*

Se evaluaron 3 medios los cuales han sido empleados para la degradación de colorantes por diferentes autores: medio Kirk (Cardona, Osorio, & Quintero, 2009; T. 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, & 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 (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 elicitor debido a que las enzimas ligninasas no son constitutivas y requieren ser inducidas por el medio de crecimiento (Robinson et al., 2001) (T. Kirk et al., 1990). 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, Adetutu, Shahsavari, Smith, & Ball, 2014); se tomaron muestras cada 2 días, para cada una se determinó la concentración de colorante por medio de la técnica de grado de decoloración mencionada anteriormente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. 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 con colorantes reactivos.*

| CARACTERIZACIÓN EFLUENTE TEXTIL |       |
|---------------------------------|-------|
| Alcalinidad (ppm)               | 6834  |
| O.D. (ppm)                      | 3,51  |
| pH                              | 12.15 |
| Temperatura (°C)                | 35    |
| Conductividad                   | 38600 |
| %O.D.                           | 47    |
| Salinidad                       | 26733 |
| ST (ppm)                        | 37175 |
| SST (ppm)                       | 462   |
| DBO (mgO <sub>2</sub> /L)       | 547   |
| DQO (mgO <sub>2</sub> /L)       | 2048  |

Fuente: autor

### B. Selección del medio de cultivo.

Se evaluaron los medios Kirk, Park-Robinson, y Zouari-Mechichi. En la Figura 1, se presentan los resultados de las evaluaciones de los medios de cultivo y su comportamiento en presencia del elicitador (aserrín 2 gL<sup>-1</sup>). Se observó que para el séptimo día la degradación de colorante era aproximadamente de un 80% en el medio Park-Robinson para los colorantes Rosa y azul, esto se calculó con el diámetro de degradación medido. La degradación total de color se presentó para al noveno día de cultivo en las cajas anteriormente mencionadas para el medio Park-Robinson más agente elicitador. Podemos afirmar entonces que 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 (Osorio et al., 2011), (Barrasa et

al., 2014) (Mecs, 2002), los cuales afirman que este tipo de agentes inducen la producción de enzimas extracelulares.

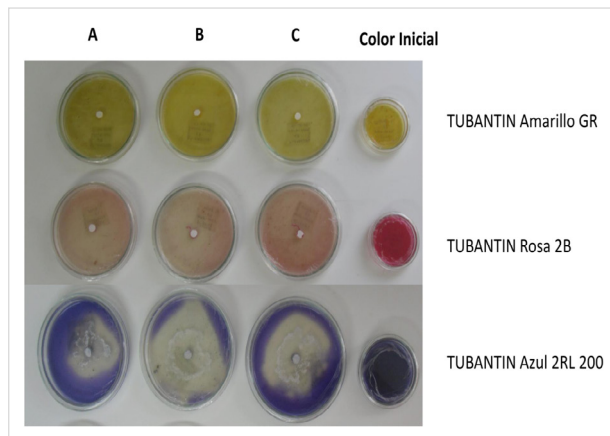


Figura 1. Degradación de colorantes Tubantin por parte del hongo B. Adusta al séptimo día de inoculación. A: Kirk con aserrín B: Park- Robinson, con aserrín, C: Zouaori-Mechichi con aserrín.

De la Fig. 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 como la glucosa que es la encargada de sustentar el microorganismo mientras realiza el proceso de degradación (Kumar et al., 2016) y el nitrógeno que es utilizado para el crecimiento micelial y la producción de enzimas (Senthilkumar et al., 2014), por lo tanto se puede afirmar que ambas sustancias juegan un papel importante en la degradación de colorantes por medio de hongos ligninolíticos y concuerdan con lo reportado por (Holguín et al., 2017)

**Tabla 2.**

*Medio de Cultivo Park-Robinson empleado para la suplementación del medio de degradación*

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

### C. Evaluación de degradación en medio líquido sintético sistema batch.

#### 1) Colorante Tubantin amarillo GR

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.

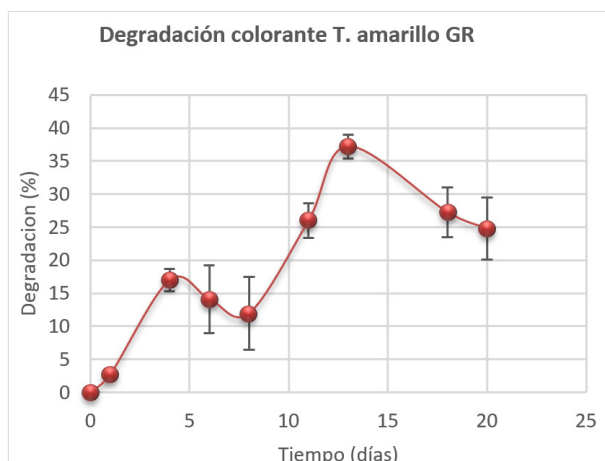


Figura 2. Cinética de degradación del colorante Tubantin amarillo GR, con el hongo B. adusta, sobre el medio Park-Robinson.



De la Fig. 2 se puede afirmar que el porcentaje máximo de degradación de colorante se da después de transcurridos 13 días de tratamiento y el valor de éste fue del 37%, este comportamiento concuerda con lo obtenido durante la selección del medio de cultivo debido a que el colorante amarillo 2R fue el que presento menores porcentajes de degradación en caja Petri.

El tiempo de adaptación del hongo en el efluente fue de 1 día. El cambio de pendiente que se da durante la fase exponencial (entre los días 2 y 13) 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 & Dawkar, 2009) (Barrasa et al., 2014).

## 2) Colorante Tubantin azul V-2B-133

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

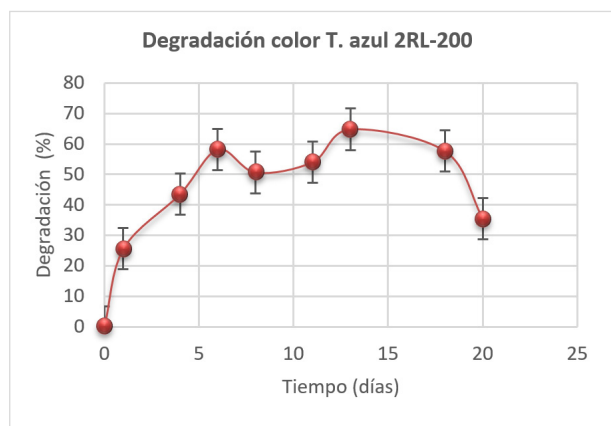


Figura 3. Cinética de degradación del colorante Tubantin Azul 2RL 200, con el hongo *B. adusta*, sobre el medio Park-Robinson.

De la Fig. 3, se puede observar que el porcentaje de degradación de colorante máximo ocurre después de transcurridos 13 días de tratamiento y este fue del 65%.

De la Fig. 3, se puede inferir que en el día 6 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 explicado este fenómeno en colorantes directos debido a la tendencia que tienen los colorantes directos por adsorberse sobre la superficie del microorganismo (Holguín et al., 2017). Osorio, (2011) argumenta 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.

## 3) Colorante Tubantin Rosa 2B

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 125 ppm.

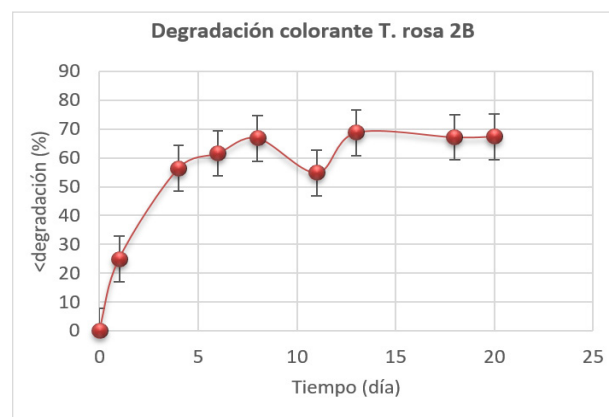


Figura 4. Cinética de degradación del colorante Tubantin Rosa 2B con el hongo *B. adusta*, sobre el medio Park-Robinson.

De la Fig. 4, se puede observar que el porcentaje de degradación de colorante máximo se da después de transcurridos 8 días de tratamiento y el porcentaje máximo de degradación fue del 68%. El tiempo de adaptación en el efluente fue de 8 días, lo cual concuerda con lo reportado por Karim, Dhar, & Hossain, (2018) los cuales reportan remociones del 72 % para 6 días de contacto entre el hongo y el efluente contaminado.

#### IV. CONCLUSIONES

El hongo *Bjerkandera adusta*, tiene la capacidad de decolorar efluentes de la industria textil, en este caso particular; colorantes directos. De los tres colorantes evaluados los que presentaron mayor porcentaje de degradación fueron el azul Tubantin 2RL-200 con un porcentaje de degradación del 64% y el rosa Tubantin 2B con un porcentaje de degradación del 67.

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 para el colorante azul Tubantin 2RL-200 puede aumentar el porcentaje de degradación en un 25%, esto se puede ver favorecido por la presencia de sales inorgánicas que conforman el medio Park-Robinson.

#### V. REFERENCIAS

- Afirm, G. (2013). Manual de química moderna. In Manual de química moderna textiles (Vol. 121, p. 161).
- Anastasi, A. (2010). Bioresource Technology Scale-up of a bioprocess for textile wastewater treatment using *Bjerkandera adusta*. *Bioresource Technology*, 101(9), 3067–3075. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.067>
- Anastasi, A., Spina, F., Prigione, V., Tigini, V., Giansanti, P., & Varese, G. (2010). Scale-up of a bioprocess for textile wastewater treatment using *Bjerkandera adusta*. *Bioresource Technology*, 101(9), 3067–3075. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.067>
- 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*, xxx(xxx), 9. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2014.03.007>
- Cardona, M., Osorio, J., & Quintero, J. (2009). Degradación de colorantes industriales con hongos ligninolíticos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 48, 27–37.
- Carrera Gallissà, E. (2017). Los retos sostenibilistas del sector textil. *Revista de Química e Industria Textil*, 220, 20–32. Retrieved from [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/103614/Los retos sostenibilistas del sector textil.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/103614/Los%20retos%20sostenibilistas%20del%20sector%20textil.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ghodake, G., & Dawkar, V. (2009). Interna-



- tional Biodeterioration & Biodegradation  
Biodegradation of diazo dye Direct brown MR by *Acinetobacter calcoaceticus* NCIM 2890. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(4), 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.12.002>
- Holguín, J., Escobar, A., Monroy, R., & Muñoz, G. (2017). Remoción de colorantes reactivos empleando el hongo *Bjerkandera adusta*. *Informador Técnico (Colombia)*, 81(2), 19–11. <https://doi.org/10.23850/22565035.877>
- Homolka, L. (2007). Decolorization of high concentrations of synthetic dyes by the white rot fungus *Bjerkandera adusta* strain CCBAS 232, 75, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.008>
- Jager, D. De, Sheldon, M. S., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.08.008>
- Karim, M. E., Dhar, K., & Hossain, M. T. (2018). Decolorization of textile reactive dyes by bacterial monoculture and consortium screened from textile dying effluent. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.02.005>
- Kirk, T. K., Farreu, R. L., Odier, E., Kalyanaraman, B., Kirk, T. K., & Higuchi, T. (1990). *chrysosporium*, 188(1986), 159–171.
- 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. (1995). Decolorization of dyes by wood-rotting basidiomycete fungi, 0229(94).
- Knapp, J. S., Newby, P. ., & Reece, L. . (1995). Decolorization of dyes by wood-rotting basidiomycete fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 17(94), 664–668.
- Kumar, S., Raut, S., Bandyopadhyay, P., & Raut, S. (2016). Fungal decolouration and degradation of azo dyes : A review. *Fungal Biology Reviews*, 30(3), 112–133. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.003>
- Mart, A. T., Y, A. H., Bergbauer, M., & Szewzyk, U. (1998). Purification and characterization of peroxidases from the dye-decolorizing fungus *Bjerkandera adusta*, 165.
- Mecs, I. (2002). Effect of the nutrient composition on dye decolorisation and extracellular enzyme production by *Lentinus edodes* on solid medium, 30(2), 381–386.
- Osorio, J., Vidal, A., & 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., & Perdih, A. (1999). Decolorization rate of dyes using lignin peroxidases of *Phanerochaete chrysosporium*. *Chemosphere*, 38(6), 1353–1359. [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., & 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. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00080-8)
- Rodríguez Couto, S. (2009). Dye removal

- by immobilised fungi. *Biotechnology Advances*, 27(3), 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.12.001>
- 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. Universidad de la Sabana.
- Senthilkumar, S., Perumalsamy, M., & Prabhu, H. J. (2014). Decolourization 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. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.10.010>
- Singh, R. L., Singh, P. K., & Singh, R. P. (2015). International Biodeterioration & Biodegradation Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes e A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.027>
- Sociedades, S. de. (2017). Informe desempeño del sector textil-confeccion. Retrieved from <https://incp.org.co/Site/publicaciones/info/archivos/Textiles.pdf>
- Taha, M., Adetutu, E. M., Shahsavari, E., Smith, A. T., & Ball, A. S. (2014). Journal of Environmental Chemical Engineering Azo and anthraquinone dye mixture decolourization at elevated temperature and concentration by a newly isolated thermophilic fungus, *Thermomucor indicae-seudaticae*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.01.015>
- Tuomela, M., & Hatakka, A. (2011). Oxidative Fungal Enzymes for Bioremediation. In E. B.V. (Ed.), *Comprehensive Biotechnology* (Second Edi, Vol. 1, pp. 183–196). Helsinki: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00370-6>
- Valentín, L. (2007). Biodegradation of dibenzothiophene, fluoranthene, pyrene and chrysene in a soil slurry reactor by the white-rot fungus *Bjerkandera sp.* BOS55, 42, 641–648. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.11.011>
- Zouari-Mechichi, H., Mechichi, T., Dhouib, 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>