

Decoloración de aguas residuales textiles utilizando el hongo ligninolítico anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.*

Decolorization of textile wastewater using the white rot fungi anamorph R1 of *Bjerkandera sp.*

*Juliana Osorio Echavarría, Ana Isabel Vidal Benavides, Juan Carlos Quintero Díaz**

Grupo de Bioprosos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Antioquia. Calle 67 53-108. Bloque 18-438. A.A. 1226, Medellín, Colombia

(Recibido el 03 de febrero de 2010. Aceptado el 15 de octubre de 2010)

Resumen

Se evaluó la decoloración de aguas residuales sintéticas y reales de la industria textil empleando el hongo de la pudrición blanca de la madera anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* Se analizó el efecto de la presencia de las sales NaCl y Na₂CO₃, de la concentración del agua residual y de la esterilización, sobre el grado de decoloración. También se evaluó el efecto de la decoloración sobre la toxicidad frente a la bacteria bioluminiscente *Vibrio fischeri*. Los resultados demostraron que la presencia de sales incrementan la actividad de la enzima ligninoperoxidasa de 5 a 20 U/L, sin detrimento de la actividad de manganeso peroxidasa (70 U/L). Además, se observó que las sales incrementan el grado de adsorción del colorante a la biomasa del hongo, mejorando la decoloración por efecto de ambos mecanismos, degradación y adsorción. El porcentaje de decoloración alcanzado con aguas sintéticas suplementadas con sales fue del 75%. El tratamiento de decoloración de efluentes textil es en condiciones estériles, alcanzó un 65% en 8 días y se obtuvo una reducción de su toxicidad del 58% respecto a las aguas reales sin tratar. Con efluentes textiles no estériles, se alcanzó una decoloración del 40%. La presencia de microorganismos contaminantes competidores del sustrato y el incremento del pH por el metabolismo de los hongos, fueron probablemente las principales causas de la baja decoloración.

----- **Palabras clave:** Hongos ligninolíticos, decoloración, efluentes textiles, toxicidad, *Bjerkandera sp.*

* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 4 + 219 55 37, fax: + 57 + 4 + 211 90 28, correo electrónico: jcquinte@udea.edu.co (J. C. Quintero)

Abstract

Decolorization of synthetic and industrial wastewaters from textile industry by the anamorph R1 of white rot fungi *Bjerkandera sp.* was evaluated. The presence of NaCl and Na₂CO₃ wastewater concentration and treatment with non-sterile wastewater on decolorization were analyzed. In addition, the decolorization effect on wastewater toxicity was analyzed with *Vibrio fischeri* as target microorganism. The presence of salts in the treatment increased the lignin peroxidase activity from 5 to 20 U/L, without detriment of manganese peroxidase activity which remained at 70 U/L, also. The presence of salts also enhances dye adsorption degree over fungi biomass, improving the decolorization by the two mechanisms, degradation and adsorption. In hypersaline synthetic wastewater, the percentage of decolorization was 75%. The decolorization treatment of sterile textile effluents reached 65% in 8 days and the toxicity reduction was 58% with respect to untreated textile effluents. In non-sterile textile effluents, only 40% of decolorization was obtained. The presence of contaminant microorganisms which compete by substrate and increase pH by fungus metabolism, were likely the main causes of low decolorization.

----- **Keywords:** White-rot fungi, dye, decolorization, textile wastewater, toxicity, *Bjerkandera sp.*

Introducción

La industria textil utiliza alrededor del 15% del total del agua empleada para labores industriales en el mundo, la cual después del paso por los diversos procesos, resulta altamente contaminada. La mayor parte de su carga contaminante está constituida por impurezas inherentes al textil, productos adicionados para facilitar el hilado y el tejido, auxiliares y colorantes [1]. La aplicación de colorantes a las fibras textiles, genera un problema ambiental asociado con la presencia de ciertas cantidades de colorantes no fijados en las aguas residuales, puesto que el grado de fijación de los colorantes sobre los materiales textiles normalmente está en el rango del 60-80% [2]. Estudios de toxicidad realizados con ratones de laboratorio, revelan que la ingesta de aguas residuales textiles genera alteraciones en el sistema reproductor y reducción de la movilidad [3]; también estos efluentes han mostrado alta toxicidad mediante bioensayos con *Daphnia magna* [4]. La presencia de colorantes en cuerpos de agua reduce el paso de la luz solar, lo que puede generar desequilibrio en los ecosistemas acuáticos y provoca desagradables efectos

visuales en el paisajismo natural ya que el ojo humano puede detectar residuos de colorantes en concentraciones del orden de 0,01 ppm en causas limpios.

Para reducir los problemas mencionados, los efluentes textiles deben pasar por procesos de depuración antes de ser descargados en cuerpos de agua naturales. Se han propuesto diferentes estrategias tecnológicas, para la eliminación de los colorantes residuales y su toxicidad inherente [5], entre ellos, los procesos biotecnológicos han mostrado un gran potencial porque son eficientes, amigables con el medio ambiente y atractivos económicamente [6]. Entre la amplia diversidad microbiana, los hongos de la pudrición blanca de la madera han sobresalido porque poseen un sistema ligninolítico oxidativo que exhibe un alto grado de inespecificidad permitiéndoles degradar un amplio número de compuestos recalcitrantes además de la lignina [7-8]. La mayoría de los estudios en degradación de colorantes textiles, se han limitado a estudiar la decoloración de colorantes individuales alcanzando niveles de remoción hasta del 98% en condiciones estériles [9-11]; sin embargo, como los efluentes textiles

contienen una mezcla compleja de colorantes, se requiere evaluar la capacidad de estos hongos para decolorar efluentes con mezclas de colorantes y determinar el comportamiento del bioproceso con efluentes reales en condiciones no estériles con el fin de evidenciar si los hongos mantienen su capacidad degradativa ante la colonización simultánea del efluente con otro tipo de microflora. Por lo anterior, el propósito principal de este estudio fue evaluar la decoloración de mezclas de colorantes presentes en aguas textiles sintéticas y efluentes residuales textiles, empleando el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.*, el cual en estudios previos ha mostrado un alto potencial para la decoloración de tintes textiles y otros xenobióticos [9,12].

Experimentación

Microorganismo y medios de cultivo

Se utilizó un anamorfo (R1) del hongo de podredumbre blanca *Bjerkandera sp.* (anteriormente llamado *Anthracophyllum discolor*), aislado de un bosque nativo chileno, cedido por el profesor Gumersindo Feijoo del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Santiago de Compostela (España). La cepa se cultivó en cajas petri con el siguiente medio de cultivo: agar (15 gL⁻¹); glucosa (20 gL⁻¹); peptona (5 gL⁻¹); extracto de levadura (2 gL⁻¹); KH₂PO₄ (1 gL⁻¹); MgSO₄·5H₂O (0,5 gL⁻¹), aserrín de madera (2 gL⁻¹) a pH 5,5. Se incubó a 30 °C por 8 días y se almacenó a 4 °C para su conservación. A partir de los cultivos de conservación se hicieron repiques periódicos pasando un trozo circular de agar con micelio de 9 mm, a cajas petri con el siguiente medio de mantenimiento: agar (15 gL⁻¹); glucosa (10 gL⁻¹); extracto de malta (3,5 gL⁻¹) a pH de 5,5. Las cajas se incubaron a 30 °C por 8 días y posteriormente se mantuvieron a 4 °C hasta su uso. Los inóculos necesarios para poner en marcha todos los ensayos, se prepararon a partir de los cultivos de mantenimiento, transfiriendo 4 trozos de agar colonizado de 9 mm de diámetro a un matraz de 1 L con 100 mL de medio de cultivo Kirk modificado des-

crita a continuación: glucosa (10 gL⁻¹), peptona (5 gL⁻¹), tiamina (2 mgL⁻¹), CaCl₂ (0,1 gL⁻¹), trazas de sales (10 mL⁻¹) y pH de 4,5 [13]. Los matrazes fueron incubados a 30°C durante 10 días sin agitación. Posteriormente, la capa de micelio formada se homogenizó en una licuadora durante 20s y se usó para los diferentes ensayos.

Colorantes

Se utilizaron cuatro colorantes textiles de amplio uso para la tinción de fibras textiles como lana, seda, nylon entre otras. El colorante disperso rojo Cibacron® ($\lambda= 505$ nm), los colorantes ácidos rojo Erionyl®, turquesa Erionyl® ($\lambda= 508$ nm y $\lambda= 616$ nm, respectivamente) y el colorante reactivo azul Terasil® ($\lambda= 580$ nm). Por su estructura química el rojo Cibacron y el rojo Erionyl son azóicos, el turquesa Erionyl es una ftalocianina y el azul Terasil es antraquinónico. Estos colorantes se usaron para obtener las preparaciones de las aguas sintéticas.

Agua residual industrial

El agua residual textil del proceso de tinción *Pat Batch*, fue suministrada por una empresa de textiles y confección del Valle del Aburrá (Departamento de Antioquia-Colombia). Dentro de sus componentes se encuentran los colorantes negro Everzol EDR y negro Everzol EDG, carbonato de sodio, soda cáustica, antiespumantes y humectantes.

Ensayos con aguas residuales sintéticas

Para evaluar la capacidad de decoloración del hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* en mezclas de colorantes, se realizaron dos experimentos simulando las aguas residuales textiles (aguas residuales sintéticas). El primero consistió en realizar el tratamiento de decoloración empleando el medio de cultivo Kirk modificado, a la cual se le adicionaron los cuatro colorantes industriales en concentraciones individuales de 150 ppm. El segundo experimento se realizó igualmente con el medio de cultivo Kirk modificado, en este caso suplementado con algunos compuestos

normalmente presentes en las aguas industriales textiles, NaCl (30 gL⁻¹), Na₂CO₃ (5 gL⁻¹), NaOH 32,5% (5 mL⁻¹) y H₂O₂ 4mM (50 mL⁻¹) y con los cuatro colorantes a concentraciones individuales de 150 ppm.

Se realizaron experimentos de control con biomasa inactiva (inactivación con NaCl y calor) [14], para evaluar el grado de adsorción del colorante sobre la biomasa y experimentos sin biomasa para evaluar si existe degradación por factores físico-químicos. Los ensayos se realizaron por triplicado y se empleó la prueba t de Student (p < 0,05) para conocer la significancia estadística de cada tratamiento.

Ensayos con agua residual industrial

Para evaluar la capacidad de decoloración del hongo en agua residual industrial, primero se realizó un estudio del efecto de la concentración del agua residual sobre la decoloración, tomando como el valor de máxima concentración el efluente industrial y realizando diluciones en el rango de 1-1/10 del efluente con agua destilada. Cada dilución se suplementó con los nutrientes del medio de cultivo Kirk modificado. Los ensayos se llevaron a cabo en condiciones estériles.

Una vez seleccionada la dilución adecuada para el tratamiento de decoloración, se evaluó la capacidad de decoloración del hongo en condiciones no estériles a las mismas condiciones de tratamiento empleadas en la evaluación de las diluciones. Se realizaron controles similares a los realizados en los ensayos con aguas sintéticas.

Todos los experimentos se realizaron en matraces de 500 mL con 200 mL de volumen de trabajo empleando un 10% v/v de inóculo homogenizado. Los matraces se esterilizaron antes de la inoculación a 121°C y 15 psi. (excepto los usados para estudios no estériles) y se incubaron a 30°C y 175 rpm durante 8 días. Se tomaron muestras diarias para análisis de decoloración, determinación de actividad enzimática manganoso peroxidasa (MnP), lignino peroxidasa (LiP) y recuento microbiano en cámara de Neubauer.

Se realizaron pruebas de toxicidad para el agua residual industrial en condiciones estériles antes y después del tratamiento.

Métodos analíticos

La intensidad de color de las muestras centrifugadas (4035g por 15 min.), fue medida por determinación espectrofotométrica de la absorbancia entre 450 – 700 nm. El porcentaje de decoloración se calculó empleando la ecuación 1 [15]:

$$\% \text{ Decoloración de la mezcla} = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A₀ = área bajo la curva del espectro de absorbancia entre 450 – 700 nm para la muestra tomada en el tiempo cero del tratamiento.

A_f = área bajo la curva del espectro de absorbancia entre 450 – 700 nm para las muestras tomadas al final del tratamiento.

Para determinar el % de decoloración de los colorantes individuales dentro de la mezcla, se leyó la absorbancia, a la longitud de onda específica de cada colorante (λ_i), en muestras tomadas en el tiempo cero y final del tratamiento. Se empleó la ecuación 2.

$$\% \text{ Decoloración del colorante } i \text{ en la mezcla} = \left(\frac{a_0^{\lambda_i} - a_f^{\lambda_i}}{a_0^{\lambda_i}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

(a₀^{λ_i}) = Absorbancia medida a la longitud de onda del colorante i, para las muestras tomada en el tiempo cero del tratamiento.

(a_f^{λ_i}) = Absorbancia medida a la longitud de onda del colorante i, para las muestras tomadas al final del tratamiento.

La actividad manganoso peroxidasa (MnP) se determinó a partir de la oxidación del compuesto 2,6 dimetoxifenol (2,6-DMP) a 468 nm [16].

Para la preparación de la solución de reacción se mezclaron 50 μL de DMP (20 mM), 200 μL de malonato de sodio (250 mM a $\text{pH}= 4,5$), 50 μL de MnSO_4 (20 mM), 600 μL de muestra y 100 μL de H_2O_2 (4 mM). La actividad ligninoperoxidasa (LiP) se determinó mediante la oxidación de alcohol veratrílico a aldehído veratrílico (AV) a 310 nm [13]. Para la preparación de la solución de reacción se mezclaron 200 μL de AV (10 mM), 200 μL de tartrato de sodio (250 mM a $\text{pH}= 3,0$), 500 μL de muestra y 100 μL de H_2O_2 (4 mM). Una unidad de actividad (U) se define como la cantidad de enzima (en mL) necesaria para oxidar 1 mmol de sustrato (DMP para MnP y AV para LiP) en un minuto.

El procedimiento experimental para los ensayos de toxicidad por inhibición de la bioluminiscencia de *Vibrio fischeri*, se basó en la norma ISO 11349-1 de los protocolos estándar [17], usando un sistema comercialmente disponible de Microtox®.

Resultados y discusión

Decoloración con aguas residuales sintéticas

En la figura 1A, se muestra el espectro de absorbancia de la mezcla de cuatro colorantes industriales Rojo Cibacrón, Rojo Erionyl, Azul Terasil y Turquesa Erionyl, en diferentes días de tratamiento con el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* El espectro de absorbancia correspondiente a la mezcla de colorantes antes del tratamiento (día 0), presenta dos picos en 510 nm y 620 nm, el primero corresponde a la superposición de los colorantes rojos presentes en la mezcla y el segundo pico corresponde a los colorantes de tonalidad azul y turquesa. Al final del tratamiento se observa una reducción significativa en los valores de absorbancia, correspondiente a un porcentaje de decoloración global de 70%. Igualmente se observa la desaparición del pico en 620 nm, lo que muestra que los colorantes azul y turquesa tuvieron los mayores porcentajes de decoloración. La evaluación del

porcentaje de decoloración individual confirma este comportamiento, alcanzándose 89% para turquesa Erionyl, 75% para azul Terasil y 60 % para rojo Erionyl y rojo Cibacron, tras 8 días de tratamiento.

Los espectros de absorbancia del tratamiento con sales (figura 1B), presentan un comportamiento similar al del tratamiento sin sales. Se obtuvo un porcentaje de decoloración global del 75%. El porcentaje de decoloración de los colorantes individuales fue del 85% para turquesa Erionyl y 70% para los demás colorantes.

De acuerdo con la prueba estadística t, existe diferencia significativa ($p=0,036$) entre el porcentaje de decoloración de los tratamientos sin sales y con sales, indicando que la presencia de sales favorece la decoloración (figura 2). En esta figura se observa que una parte importante de la decoloración se debe a la adsorción de los colorantes sobre la biomasa fúngica, incrementándose la adsorción con la presencia de sales. Igualmente, para la cepa en estudio, la presencia de sales favorece la producción de la enzima LiP de 5 a 20 U/L, sin detrimento de la actividad manganeso peroxidasa (70 U/L), produciendo decoloración por degradación (figura 2). Por tanto, la presencia de sales favorece la decoloración por adsorción y por degradación. Resultados similares se han observado con el hongo *I. lacteus* que alcanza elevados niveles de decoloración del colorante Poly R-478 a concentraciones hipersalinas, mientras que para otros tipos de hongos basidiomicetos como *B. adusta* las altas concentraciones de sales son desfavorables para la decoloración [18]. Los hongos *P. crhysosporium* y *Plebia sp.*, cultivados en medios suplementados con agua de mar, incrementan la producción de MnP [19], mientras que en el caso del hongo ligninolítico *M. racemosus* altas concentraciones de NaCl, entre 12,5 y 35%, reducen la producción de LiP [20]. Lo anterior permite observar un alto grado de variabilidad en la fisiología de este tipo de hongos, frente a condiciones ambientales similares.

La adsorción es un mecanismo de decoloración que ha sido poco estudiado con biomasa de hongos basidiomicetos. Un primer estudio realizado con *P. chrysosporium* muestra que el 12% del colorante removido de efluentes textiles es por adsorción [21], valor similar al encontrado con el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* Sin embargo, no se encontraron estudios del efecto de la concentración de sales sobre la adsorción de colorantes textiles en este tipo de hongos, permitiendo así presentar unos primeros resultados que indican que la presencia de altas concentraciones salinas, como las observadas en los efluentes textiles, incrementan la capacidad de adsorción de colorantes (figura 2).

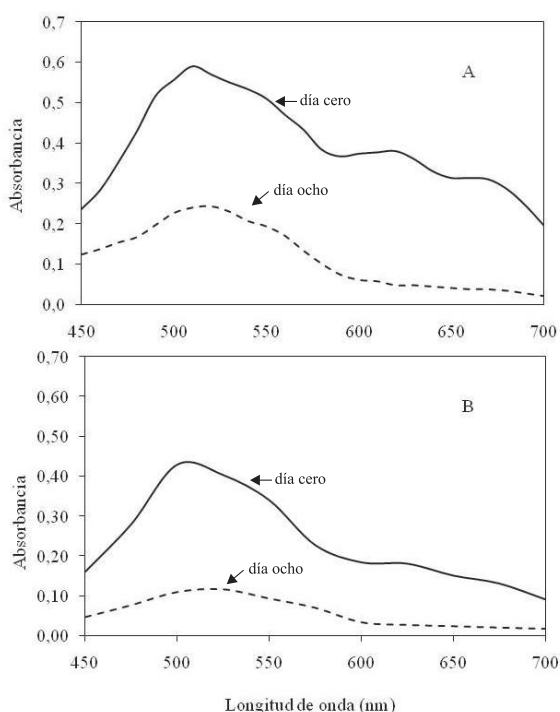


Figura 1 Cambios en el espectro de absorbancia de aguas residuales textiles simuladas durante el tratamiento con el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* A) Mezcla de cuatro colorantes industriales en medio Kirk; B) Mezcla de cuatro colorantes industriales en medio Kirk suplementado con sales

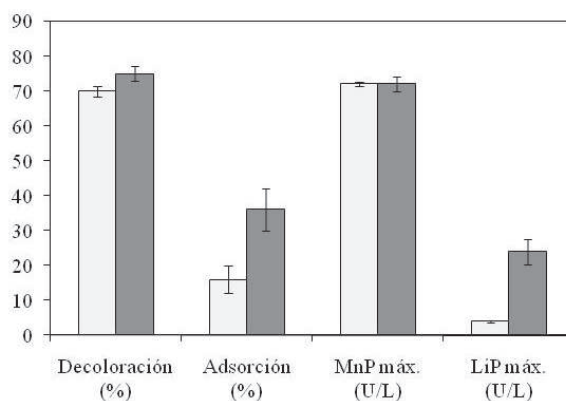


Figura 2 Comportamiento de la decolorización, adsorción de los colorantes y producción de enzimas ligninolíticas tras ocho días de tratamiento de aguas residuales textiles simuladas con el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* Mezcla de cuatro colorantes industriales en medio Kirk (barras blancas) y mezcla de cuatro colorantes industriales en medio Kirk suplementado con sales (barras grises)

Decoloración con aguas residuales industriales

Los resultados del efecto de la concentración del agua residual textil sobre la eliminación de los colorantes, en el rango de diluciones 1/1 a 1/10 de la concentración del efluente original, se muestran en la figura 3. Se puede observar que el porcentaje de decoloración fue decreciendo a medida que se redujo la concentración del agua residual. Los porcentajes de decoloración alcanzados fueron de 67, 39 y 29 % para agua residual, agua residual a dilución 1:5 y agua residual a dilución 1:10, respectivamente. Aquí se evidencia nuevamente que altas concentraciones salinas presentes en estas aguas favorecen la decoloración, tal como se observó en los resultados de la figura 2 con aguas sintéticas. Resultados similares han sido obtenidos por otros investigadores empleando *P. chrysosporium*, encontrando altos valores de decoloración con efluentes textiles concentrados respecto a diluidos [22].

De acuerdo con los resultados anteriores, se evaluó el grado de decoloración con las aguas residuales textiles sin diluir y en condiciones estériles y no

estériles, con el fin de conocer la capacidad de decoloración del hongo en estudio, frente a un ambiente competitivo por otros microorganismos. Estos resultados se muestran en la figura 4.

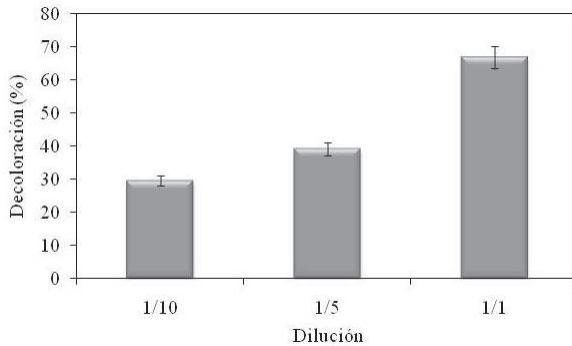


Figura 3 Efecto de la concentración del agua residual sobre su decoloración con el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.*, tras ocho días de tratamiento

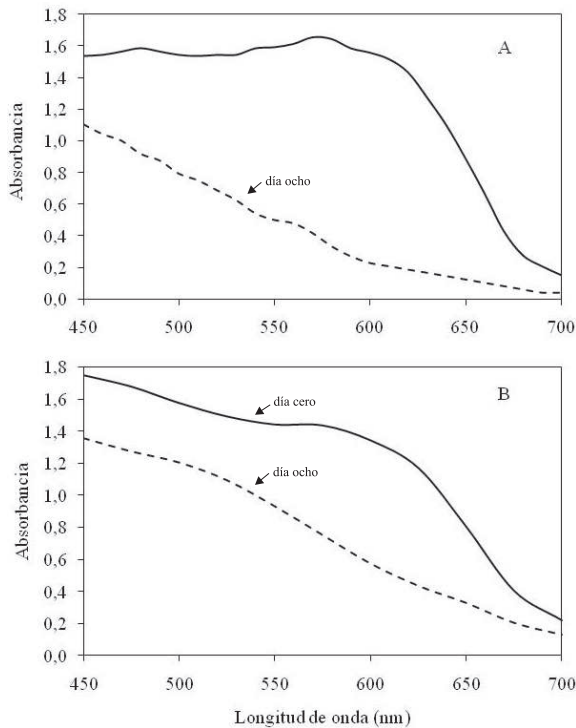


Figura 4 Cambios en el espectro de absorbancia de aguas residuales textiles reales durante el tratamiento con el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* A) Tratamiento en condiciones estériles; B) Tratamiento en condiciones no estériles

De acuerdo con las relaciones de las áreas de los espectros de absorbancia para el tiempo cero y después de ocho días de tratamiento, se encontró un 65% de decoloración para el efluente real estéril y un 40% para el efluente real en condiciones no estériles. El caso del efluente real estéril presentó un valor similar a los encontrados con los efluentes sintéticos, sin embargo se observa un alto grado de inhibición de la decoloración cuando el efluente no se esteriliza. Resultados obtenidos de ensayos control (sin la presencia del hongo) bajo condiciones no estériles, indicaron que no hay una decoloración significativa (3%) por la presencia de los microorganismos endógenos o ambientales que crecieron durante el tratamiento, indicando que esta microflora no tiene capacidad para la decoloración.

Los resultados de toxicidad de las muestras tomadas al inicio y al final del tratamiento estéril, mostraron que la dosis letal 50 (EC_{50}) se alcanza con una concentración del agua residual sin tratar del 28,5%, mientras que la EC_{50} para el agua residual tratada, que alcanzó un 65% de decoloración, requiere una concentración del 66,9%. En otras palabras, al final del tratamiento se observa una reducción en la toxicidad del 58% con respecto a la toxicidad inicial, lo que muestra una alta correlación entre la eliminación de la coloración y la reducción en la toxicidad.

Durante el tratamiento de decoloración de los efluentes reales en condiciones no estériles, se observó un incremento del pH de 4,5 a 9,0 al final del tratamiento. Este comportamiento se debe a la liberación de amonio durante la fase de metabolismo endógeno en que entra el hongo cuando hay condiciones ambientales de limitación de nutrientes, las cuales se alcanzaron rápidamente debido a que en el sistema proliferaron bacterias, alcanzando un recuento final de 6 millones de células por mL (figura 5). Su micromorfología correspondía a bacterias tipo cocos. En el tratamiento estéril, se observaron altos valores de actividad de las enzimas MnP y LiP, de 146 y 110 UL^{-1} respectivamente, que fueron superiores a los encontrados en los medios sintéticos, mientras que en el tratamiento con el efluente no estéril estos valores fueron de 2,2 y 3,6 UL^{-1} respectivamente.

La competencia por los nutrientes del medio, el incremento del pH a valores no tolerables por el hongo ni las enzimas, puede explicar por qué fueron bajos los valores de decoloración y por qué no se obtuvieron altos valores de actividad enzimática en el efluente no estéril. El valor de decoloración del 40% es similar al grado de adsorción obtenido en los ensayos con medios sintéticos salinos, de lo que se puede inferir, que el mecanismo principal para alcanzar este valor de decoloración fue la adsorción más que la degradación, pues las enzimas se ven sensiblemente afectadas por las condiciones de pH alcalino. Por tanto, para garantizar la acción eficaz del hongo y de sus enzimas degradadoras, es importante crear condiciones ambientales adecuadas principalmente de bajo pH y limitar la competencia de otros microorganismos. Por lo anterior, se crea la necesidad de desarrollar estrategias para reducir el impacto negativo de la microflora endógena y así hacer viable esta tecnología, que ha demostrado un gran potencial para la decoloración de efluentes de la industria textil. El control de pH durante el tratamiento de efluentes no estériles y la inmovilización del hongo son estrategias que se comienzan a evaluar como posibles alternativas para evitar la excesiva proliferación de otros microorganismos y crear microambientes adecuados para los hongos [23-25].

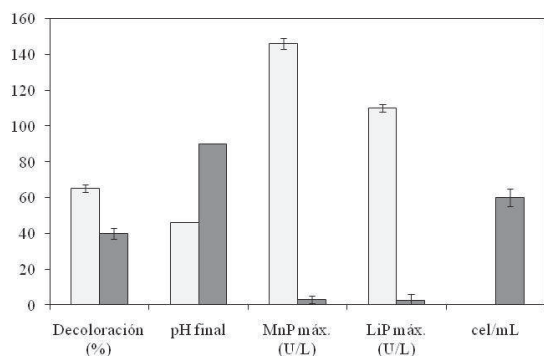


Figura 5 Comportamiento del tratamiento de decoloración de aguas residuales textiles empleando el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* Tratamiento en condiciones estériles (barras blancas); Tratamiento en condiciones no estériles (barras grises). Nota: Para obtener los valores de pH, multiplicar la escala por 0,1 y para los valores de número de células/mL, multiplicar por 10^5

Conclusiones

El hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.*, exhibió una importante capacidad para decolorar aguas de la industria textil. La decoloración se vio favorecida por la presencia de altas concentraciones de sales que son propias de este tipo de aguas residuales, indicando que el hongo tiene capacidad para desarrollarse en condiciones hipersalinas. La posibilidad de explotar este hongo, para la decoloración de efluentes se confirmó cuando mostró una capacidad decolorativa en un efluente industrial estéril, similar a la observada en un efluente sintético. Igualmente, la reducción en la toxicidad del efluente correlaciona bastante bien con el nivel de decoloración alcanzado. 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. La concentración del agua residual tiene efecto sobre la decoloración, se obtiene un mayor grado de decoloración a mayor concentración del efluente. La presencia de microorganismos contaminantes en aguas residuales no estériles afecta significativamente el comportamiento frente a la decoloración, del hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera sp.* La competencia por la fuente de carbono afecta el crecimiento del hongo y genera un incremento de pH del medio en detrimento de la actividad de las enzimas ligninolíticas. Estos microorganismos competidores no mostraron capacidad para decolorar el efluente y por tanto la decoloración observada fue debida a la presencia del hongo, posiblemente mediante el mecanismo de adsorción.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Grupo de Ingeniería Ambiental y Bioprocesos de la Universidad de Santiago de Compostela (España), Dr. Gumersindo Feijoo, por el obsequio de la cepa del hongo.

Referencias

1. M. A. Muhammad, M. A. Baig, H. Ishtiaq, A. Q. Ishtiaq, M. Murtaza, S. Haroon. "Textile Wastewater

- Characterization and Reduction of its Cod and Bod by Oxidation". *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem.* Vol. 3. 2004. pp. 804-811.
2. O. Odintsova, M. Krotova, B. Melnikov. "Use of Cationic Agents for Fixing Coloration of Textile Materials". *Russ. J. Appl. Chem.* Vol. 82. 2009. pp. 461-465.
 3. V. Suryavathi, S. Sharma, P. Saxena, S. Pandey, R. Krover, S. Kumar, K. P. Sharma. "Toxicity of Textile Dye Wastewaters (Untreated and Treated) of Sanganer on Male Reproductive Systems of Albino Rats and Mice". *Reprod. Toxicol.* Vol. 19. 2005. pp. 547-556.
 4. Y. Verma. "Acute Toxicity Assessment of Textile Dyes and Textile and Dye Industrial Effluents Using *Daphnia Magna* Bioassay". *Toxicol. Ind. Health.* Vol. 24. 2008. pp. 491-500.
 5. M. Doble, A. Kumar. "Degradation of Dyes". *Biotreatment of Industrial Effluents*. Ed. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford (UK). 2005. pp. 111-132.
 6. I. M. Banat, P. Nigam, D. Singh, R. Marchant. "Microbial Decolorization of Textile-Dyecontaining Effluents: A Review". *Bioresour. Technol.* Vol. 58. 1996. pp. 217-227.
 7. M. Asgher, H. N. Bhatti, M. Ashraf, R. L. Legge. "Recent Developments in Biodegradation of Industrial Pollutants by White Rot Fungi and Their Enzyme System". *Biodegradation.* Vol. 19. 2008. pp. 771-783.
 8. V. Christian, R. Shrivastava, D. Shukla, H. Modi, B. Vyas. "Degradation of Xenobiotic Compounds by Lignin-Degrading White-Rot Fungi: Enzymology and Mechanisms Involved". *Indian J. Exp. Biol.* Vol. 43. 2005. pp. 301-12.
 9. M. Cardona, J. Osorio, J. C. Quintero. "Degradación de Colorantes Industriales con Hongos Ligninolíticos". *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.* Vol. 48. 2009. pp. 27-37.
 10. L. Casieri, G. Varese, A. Anastasi, V. Prigione, K. Svobodov, V. Filippelo Marchisio, C. Novotny. "Decolorization and Detoxication of Reactive Industrial Dyes by Immobilized Fungi *Trametes Pubescens* and *Pleurotus Ostreatus*". *Folia Microbiol.* Vol. 53. 2008. pp. 44-52.
 11. M. Chander, D. S. Arora. "Evaluation of Some White-Rot Fungi for Their Potential to Decolourise Industrial Dyes". *Dyes Pigm.* Vol. 72. 2007. pp. 192-198.
 12. O. Rubilar, G. Feijoo, M. Diez, T. A. Lu Chau, M. T. Moreira, J. M. Lema. "Biodegradation of Pentachlorophenol in Soil Slurry Cultures by *Bjerkandera Adusta* and *Anthracophyllum Discolor*". *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 46. 2007. pp. 6744-6751.
 13. K. Tien Ming. "Lignin Peroxidase of *Phanerochaete Chrysosporium*". *Methods in Enzymology.* Vol. 161. 1988. pp. 238-249.
 14. V. Prigione, G. C. Varese, L. Casieri, V. F. Marchisio. "Biosorption of Simulated Dyed Effluents by Inactivated Fungal Biomasses". *Bioresour. Technol.* Vol. 99. 2008. pp. 3559-3567.
 15. S. Rodriguez Couto, E. Rosales, and A. Sanroman. "Decolourization of Synthetic Dyes by *Trametes Hirsuta* in Expanded-Bed Reactors." *Chemosphere.* Vol. 62. 2006. pp. 1558-1563.
 16. J. A. Field, E. De Jong, G. Feijoo Costa, J. A. M. De Bont. "Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by New Isolates of White Rot Fungi". *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 58. 1992. pp. 2219-2226.
 17. W. Q. ISO. "Determination of the Inhibitory Effect of Water Samples on the Light Emission of *Vibrio Fischeri*. (Luminescent Bacteria Test)". *Iso 11348-1, 2 and 3*. International Standardization Organization. Geneva. Switzerland. 1998. Pp. 1-21
 18. L. Valentín, G. Feijoo, M. T. Moreria, J. M. Lema. "Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Forest and Salt Marsh Soils by White-Rot Fungi". *Int. Biodeterior. Biodegrad.* Vol. 58. 2006. pp. 15-21.
 19. I. Kamei, C. Daikoku, Y. Tsutsumi, R. Kondo. "Saline-Dependent Regulation of Manganese Peroxidase Genes in the Hypersaline-Tolerant White Rot Fungus *Phlebia Sp. Mg-60*". *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 74. 2008. pp. 2709-2716.
 20. R. Costa Bonugli-Santo, L. Regina Durrant, M. da Silva, L. Durães Sette. "Production of Laccase, Manganese Peroxidase and Lignin Peroxidase by Brazilian Marine-Derived Fungi". *Enzyme Microb. Technol.* Vol. 46. 2010. pp. 32-37.
 21. D. K. Bakshi, S. Saha, I. Sindhu, P. Sharma. "Use of *Phanerochaete Chrysosporium* Biomass for the Removal of Textile Dyes from a Synthetic Effluent." *World J. Microbiol. Biotechnol.* Vol. 22. 2006. pp. 835-839.
 22. M. Assadi, K. Rostami, M. Shahvali, M. Azin. "Decolorization of Textile Wastewater by *Phanerochaete Chrysosporium*". *Desalination.* Vol. 141. 2001. pp. 331-336.
 23. G. Dawen, W. Xianghua, Q. Yi. "Decolorization of Reactive Brilliant Red K-2bp with the White-Rot Fungi under Non-Sterile Conditions". *Chin. Sci. Bull.* Vol. 49. 2004. pp. 981-982.
 24. D. Gao, Y. Zeng, X. Wen, Y. Qian. "Competition Strategies for the Incubation of White Rot Fungi under Non-Sterile Conditions". *Process Biochem.* Vol. 43. 2008. pp. 937-944.
 25. J. Libra, M. Borchert, S. Banit. "Competition Strategies for the Decolorization of a Textile-Reactive Dye with the White-Rot Fungi *Trametes Versicolor* under Non-Sterile Conditions". *Biotechnol. Bioeng.* Vol. 82. 2003. pp. 736-744.