



Artículo de revisión / Review article

Revisión de eficiencia de hongos ligninolíticos en la biodegradación y adsorción de los metales pesados en aguas residuales textiles

Review of the efficiency of ligninolytic fungi in the biodegradation and adsorption of heavy metals in textile wastewater

Naid Mayra Gomez-Delgado ¹; Taira Cheril Sánchez-Cuesta ¹; Betsabeth Teresa Padilla-Macedo ^{1*}

¹EP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana
Unión, Tarapoto, Perú

Recibido: 06/05/2025
Aceptado: 11/07/2025
Publicado: 25/07/2025

*Autor de correspondencia: padilla@upeu.edu.pe

Resumen: Los hongos ligninolíticos son microorganismos capaces de mineralizar la lignina mediante la producción de radicales libres generados por enzimas oxidativas, lo que les confiere una notable capacidad para degradar contaminantes y recuperar ambientes impactados. Esta revisión analizó la eficiencia de distintas especies en la remoción de metales pesados en aguas residuales. La metodología se basó en la búsqueda sistemática en bases de datos y repositorios institucionales, recopilando estudios sobre la remoción de metales por hongos ligninolíticos y comparando los resultados mediante matrices analíticas. *Aspergillus niger* logró remover plomo, cromo, boro y hierro con eficiencias de hasta 99.83 %, mientras que *Phanerochaete chrysosporium* eliminó plomo, níquel, cadmio y cromo alcanzando hasta 98 %. Por su parte, *Pleurotus ostreatus* mostró una elevada remoción de plomo (97.45–99.89 %) y cromo (59.89 %), y *Pycnoporus sanguineus* logró el mayor porcentaje de eliminación de plomo (99.89 %). Asimismo, *Penicillium citinum* presentó una eficiencia del 79.8 % en la remoción de plomo. En síntesis, las especies más destacadas fueron *Pycnoporus sanguineus* y *Pleurotus ostreatus* para la remoción de plomo, *Aspergillus niger* y *Phanerochaete chrysosporium* para cromo, y *Phanerochaete chrysosporium* para níquel, evidenciando su potencial como agentes biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: aguas residuales; eficiencia; hongos ligninolíticos; remoción

Abstract: Ligninolytic fungi are microorganisms capable of mineralizing lignin through the production of free radicals generated by oxidative enzymes, granting them a remarkable ability to degrade pollutants and restore contaminated environments. This review analyzed the efficiency of different species in removing heavy metals from wastewater. The methodology was based on a systematic search in databases and institutional repositories to collect studies on heavy metal removal by ligninolytic fungi, followed by comparative matrix analysis. *Aspergillus niger* removed lead, chromium, boron, and iron with efficiencies up to 99.83%, while *Phanerochaete chrysosporium* eliminated lead, nickel, cadmium, and chromium reaching up to 98%. *Pleurotus ostreatus* showed high removal rates of lead (97.45–99.89%) and chromium (59.89%), and *Pycnoporus sanguineus* achieved the highest lead removal efficiency (99.89%). Additionally, *Penicillium citinum* exhibited a 79.8% efficiency in lead removal. In summary, the most efficient species were *Pycnoporus sanguineus* and *Pleurotus ostreatus* for lead removal, *Aspergillus niger* and *Phanerochaete chrysosporium* for chromium, and *Phanerochaete chrysosporium* for nickel, demonstrating their strong potential as biotechnological agents in wastewater treatment.

Keywords: wastewater; efficiency; ligninolytic fungi; removal

1. Introducción

El agua como recurso natural es el más importante en nuestro planeta, ya que ella constituye el motor del desarrollo humano e industrial, el agua no puede sustituirse por otro fluido en muchos usos, además que es proveedora de la vida. En los países desarrollados el 59% del consumo total de agua se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (del Río García, 2011).

A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo. En todos los países, excepto los más desarrollados, la mayor parte de las aguas residuales se vierte directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado (Las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, 2017); menciona Cuenca (2012) que los países menos desarrollados no incentivan en tratamientos a las aguas residuales porque no cuentan con la infraestructura, capacidades técnicas e institucionales y financiamientos necesarios por esa razón, debido a la gran cantidad de sustancias, tóxicas, y microorganismos que portan, pueden ser causa y medio de contaminación; además llevar repercusiones negativas en la salud humana, la productividad económica, la calidad de los recursos de agua dulce ambiental y los ecosistemas; en tanto los países de ingresos altos tiene la motivación por llevar adelante tratamientos avanzados de aguas residuales basándose en el deseo de mantener la calidad del medio ambiente o de contar con una fuente alternativa de agua a la hora de enfrentar la escasez hídrica.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina incumplen a nivel general de lo requerido en materia ambiental por la cantidad de agua contaminada y la poca infraestructura e inversión en estas plantas (Lizarazo & Orjuela, 2013).

En México, la industria y la agricultura son las responsables de la mayoría de los contaminantes y menos de 25% del agua residual que se vierte a ríos y lagos es tratada, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad afirma que sólo se trata 15% de las aguas residuales y que la industria consume 6 km³ de agua y descarga anualmente 5.3 km³ de aguas residuales. Las cuencas han sido fuertemente modificadas y muchas ya no aportan suficiente agua a sus ecosistemas naturales (Gaona, 2006).

En Colombia en 989 localidades, en áreas con menos de 30.000 habitantes, el 78% no tiene tratamiento alguno de aguas residuales. Hasta el 2002 en Cundinamarca operaban 38 PTARs, en Antioquia 26, Cesar 14, Valle del Cauca 14 y Tolima 13. Según el CONPES del 2002 (Consejo Nacional de Política Económica y social), existían 237 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en 235 municipios, que trataban el 8% de los vertimientos de alcantarillado de los mismos, en medio de deficiencias como poca capacidad, procesos incompletos o nula operación (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2012).

En Perú muchos de los cuerpos de agua se encuentran afectados en su calidad por parámetros asociados a las descargas de aguas industriales, que aportan fluidos ácidos o alcalinos, contaminantes como metales pesados, fosfatos, nitratos, sulfatos y altos contenidos de aceites y grasas, sólidos suspendidos y materia orgánica que se miden como DBO, DQO. Las industrias deben realizar el tratamiento de sus aguas residuales, con tecnologías adecuadas al rubro de la industria, ya sea que descarguen al sistema de alcantarillado o directamente a los cuerpos de agua (Bauer, Castro, & Chung, 2017).

En consecuencia, actualmente existe gran interés por encontrar métodos eficientes y económicos para el tratamiento de agua. Dado que hay muchas investigaciones en las que se reporta el uso de varios métodos físicos y químicos para la remoción de colorantes presentes en aguas residuales, entre los que se encuentra la degradación microbiana aeróbica y anaeróbica, la coagulación, la oxidación química, procesos de separación de membrana, electroquímica, dilución, filtración, ósmosis reversa, entre otros. No obstante, estas metodologías resultan

costosas al momento de su aplicación por lo que se requiere la búsqueda de otras alternativas que sean eficientes y económicamente atractivas (Ensuncho et al., 2015).

2. Materiales y métodos

2.1. Revisión Bibliográfica

A partir de búsqueda en bases de datos, repositorios como, Scielo, repositorios institucionales de la Universidad Nacional agraria de la Selva (UNAS) de Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA) de Perú, la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, con la finalidad de adquirir investigaciones en la remoción de metales pesados por hongos ligninolíticos; así como las condiciones y metodologías aplicadas por cada autor.

2.2. Análisis de la información

Se pasó por un proceso de análisis, exclusión e inclusión de la información presentada de las diferentes fuentes, con el uso de matrices comparativas para la sistematización de la información, de los diferentes tratamientos con la finalidad de obtener una estructura y forma más asequible.

3. Resultados y discusiones

3.1. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de diferentes investigaciones en eficiencia de remoción de metales pesados en aguas residuales de cada una de las especies de hongos ligninolíticos, según se muestra en la figura 1.

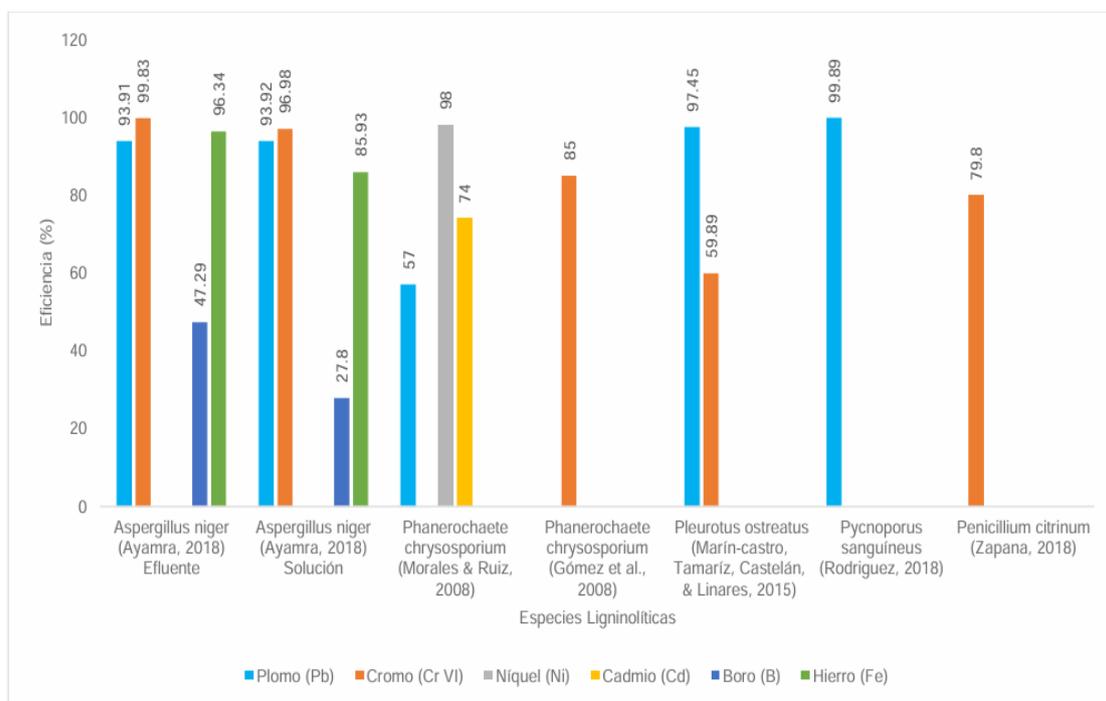


Figura 1. Eficiencia (%) de los hongos ligninolíticos en metales pesados.

3.1.1. Eficiencia de remoción del *Aspergillus Níger*

En la investigación de *Aspergillus Níger* por Ayamra (2018) se experimenta la eficiencia en condiciones diferentes; concentración de metales propia de efluentes industriales y en

soluciones metálicas realizadas en laboratorio; la metodología aplicada fue por un sistema de biorreactores con agitación continua, con un tiempo de tratamiento de 11 días.

Para concentración de metales propia de efluentes industriales se removió Plomo, Cromo, Boro y Hierro, alcanzando porcentajes de 93.91 %, 99.83 %, 47.29 % y 96.34 %; determinando la remoción más eficiente en Cromo con el 99.83 %; siendo la concentración inicial de 66.4 mg/L y concentración final de 0.11 ± 0.04 mg/L, resultando una concentración de remoción de 35.66 ± 1.48 mg/L.

Para el tratamiento en soluciones metálicas se removió Plomo, Cromo, Boro y Hierro, alcanzando porcentajes de 93.92 %, 96.98 %, 27,8 % y 85.93 %; determinando la remoción más eficiente en Cromo con 96.98 %; con una concentración inicial de 100 mg/L y una concentración final de 3.02 ± 2.17 ; resultando una concentración de remoción de 48.45 ± 2.9 mg/L.

3.1.2. Eficiencia de remoción de *Phanerochaete chrysosporium*

En la investigación de *Phanerochaete chrysosporium* por Morales & Ruiz (2008), la capacidad de remoción se evalúa en dos fases; fase 01 que consta de un estudio preliminar donde se aplica los resultados un montaje o matriz para el diseño factorial 2^2 y en la fase 02 se aplicaron reactores neumáticos de 750 ml y 4.8 litros, con un tiempo de tratamiento de 4 días; obteniendo porcentajes de remoción en Plomo con 57 %, Níquel con 98 % y Cadmio con 74 %; de esta manera obteniendo la remoción más eficiente en Níquel con 98 % con una concentración inicial de 300 mg/L.

En la investigación de *Phanerochaete chrysosporium* por Gómez et al. (2008) se experimenta con una muestra obtenida de una industria procesadora de cuero, donde se evaluaron tres tratamientos; siendo por biomasa viable inmovilizada sobre espuma, biomasa inactiva inmovilizada sobre el mismo soporte y espuma de poliuretano sin biomasa fúngica; con un tiempo de tratamiento por 10 días; donde los porcentajes de remoción obtenidos para Cromo Total fueron 97 %, 96 % y 65 % para biomasa viable, inactiva y espuma, para Cr(VI) 85 %, 50 %, 11 % y 97 % y 96 % para Cr(III) correspondiente para cada tratamiento; así determinando la remoción más eficiente en Cr (VI) con 85 % con una concentración inicial de 100 μ g L-1.

3.1.3. Eficiencia de remoción *Pleurotus ostreatus*

En la investigación de *Pleurotus ostreatus* por Marín-castro, Tamaríz, Castelán, & Linares (2015), se experimenta con soluciones metálicas de laboratorio, donde la capacidad de remoción es a través de isotermas de adsorción; en el cual se evalúa la concentración adsorbida de cada metal por el micelio de las cepas experimentales, se obtuvieron alícuotas de 5 ml de cada matraz cada 48 horas durante diez días de incubación, cada alícuota fue analizada mediante espectrofotometría de absorción atómica, ya que en este estudio se ocupó biomasa viva; alcanzando porcentajes de remoción para Plomo el 97.45 % y Cromo 59.89 %, registrándose en un tiempo de 10 días con una concentración inicial de 100 mg/L; determinándose la remoción más eficiente en Plomo con 97.45 %.

3.1.4. Eficiencia de remoción de *Pycnoporus sanguineus*

En la investigación de *Pycnoporus sanguineus* por Rodriguez (2018), la capacidad de remoción se da en tres tiempos de operación de 7, 15 y 20 días, con la aplicación de biorreactores Air Lift, obteniendo la remoción de una concentración inicial de 300 mg/L de Plomo en los 7 días el 99.89%, en los 15 días 99.59% y en los en 20 días 94.64% consiguiendo respectivamente una concentración final de 0.33 mg/L, 1.23 mg/L y 1.07 mg/L; determinando que la remoción más eficiente es en 7 días removiendo el 99.89% con una concentración final de 0.33 mg/L

3.1.5. Eficiencia de remoción *Penicillium citrinum*

En la investigación de *Penicillium citrinum* por Zapana (2018), la capacidad de remoción del de efluente de curtiembre se trató mediante las condiciones de biorreactor tipo Airlift con una

capacidad total de 5L por 120 horas de tratamiento; se determinó el Porcentaje de remoción para Cr (VI) de 79.8%, considerándose que inició con 10.00 ± 2.40 mg/L, después del tratamiento logró 2.02 ± 0.00 mg/L de Cr (VI).

3.2. Discusión

Como nos menciona Tovar, Villabona, & Garcés (2015) en su trabajo titulado “Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico” que se estudian las generalidades de la adsorción como proceso alternativo para la remoción de contaminantes en solución y las biomasas comúnmente usadas en estos procesos, se concluye que el uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en solución acuosa mediante el uso de biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos; siendo así que por medio de esta revisión y análisis se coincide que esta es una alternativa para tratar aguas residuales con presencia de metales de manera biológica por medio de hongos ligninolíticos en las que son consideradas no aprovechables y así disminuir y evitar la formación, disposición y almacenamientos de lodos y desechos, contaminantes originados durante los procesos, lo cual se convierte en un problema mayor a resolver, además, según Sala et al. (2010) los costos de implementación son bajos en comparación a tratamientos tradicionales como precipitación, oxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación, especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja.

Se ha podido identificar los metales pesados a tratar por su interés y su impacto ambiental considerándose en cuatro categorías: (1) pesados tóxicos, (2) estratégicos, (3) preciosos y (4) radionúclidos; siendo los metales de las categorías 1 y 4 los de mayor interés en eliminarse del medio ambiente (Volesky & Holant, 1995). Considerando que los pesados tóxicos constituyen un grupo de aproximadamente 40 elementos, de elevado peso atómico (mayor a 44) cuya densidad específica es superior a 5 g/cm³, excluyendo generalmente a los metales alcalinos; y los radionúclidos se presentan en forma inestable de un elemento que libera radiación a medida que se descompone y se vuelve más estable, se pueden presentar en la naturaleza o producir en el laboratorio (Tovar et al., 2015).

En esta revisión se tomaron los metales de categoría pesados tóxicos, evaluando que plomo y cadmio, se encuentra en primer lugar, aunque por la presencia de nuevas tecnologías y combustibles verdes, la contaminación por plomo ha disminuido notablemente. En cambio, el cadmio se emplea con mayor frecuencia y es un factor contaminante importante. El cromo hexavalente es extremadamente tóxico, se presenta en forma aniónica, y sus propiedades son diferentes a las de los cationes metálicos más comunes (Sala et al., 2010).

Con esta revisión se ha identificado diferentes métodos en la remoción de metales pesados por hongos ligninolíticos como; el sistema de biorreactores con agitación continua en el que Ayamra (2018) diseña este sistema tomando en consideración al diseño de Amirnia et al. (2015), la diferencia del diseño está en que Ayamra (2018) implementa un solo biorreactor para cumplir las funciones de los dos biorreactores (biorreactor para la producción de biomasa, biorreactor Airlift para la biorremoción de metales) del diseño base; debido a que se trabaja con diferentes microorganismos; ya que el *Aspergillus Níger* forma agregados miceliares, en comparación al microorganismo del diseño anterior que permanecen casi siempre en su forma unicelular; reactores neumáticos en la que genera una biomasa inmovilizada a través de un sistema de regulación térmica y un flujómetro para controlar el flujo de aire en litros/min (Morales & Tovar, 2008); el Biorreactor Air Lift están agitados neumáticamente y la circulación tiene lugar en un modelo cíclico que incluyen las columnas de burbujeo que poseen recirculación en la que la circulación de líquido es ascendente en el compartimento interno y descendente en el externo; por biomasa viable con la producción de enzimas que intervienen en la degradación de ciertos

compuestos, capacidad de crecimiento para formar nuevas células y remoción de compuestos presentes en el agua residual; aun así según Gómez et al. (2008) la biomasa inmovilizada es mejor para la remoción del metal con respecto a lo acumulado en porcentajes atómicos en contraste con la biomasa viable; y el método por Isotermas de absorción se emplea frecuentemente para cuantificar y comparar la acción de diversos biosorbentes y describir los resultados obtenidos y buscar comprender el mecanismo de biosorción (Sala et al., 2010).

Analizando los métodos utilizados se determina de acuerdo a sus características de funcionalidad de remoción los más eficientes son los sistemas de biorreactores (agitación continua, Air Lift y reactor neumático) y en cuanto al análisis analíticamente están los isotermas de adsorción; considerando todos estos métodos en funcionalidad de tiempo el más eficiente están las Isotermas de adsorción mediante espectrofotometría de absorción atómica con resultados durante dos días (48 horas) con el tratamiento *Pleurotus ostreatus*, el reactor neumático con el tratamiento de *Phanerochaete chrysosporium* por 4 días y el biorreactor Air Lift con el tratamiento *Penicillium citrinum* por 5 días (120 horas).

De acuerdo al estudio, las muestras tomadas en la investigación de Ayamra (2018) se puede observar que se ocupa el mismo tratamiento y metodología; pero con diferentes muestras siendo; efluente industrial y solución metálica; lo que conllevaría obtener similares porcentajes de remoción; a lo que no se evidencia en la remoción de Boro (47.29 %, 27.8%) y Hierro (96.34 %, 85.93%); en caso de Plomo (93.91 %, 93.92 %) y Cromo (99.83 %, 96.98

%) es poca la diferencia; determinando que al trabajar o analizar en comparación con una muestra de laboratorio a una de campo son muy diferentes las condiciones del agua, así lo menciona Hidalgo (2004) que el proceso de adsorción se ve influenciado por diferentes factores como el pH, la temperatura, la naturaleza del adsorbente, el tipo y concentración de adsorbato, entre otros; así también lo demuestra Navarro, Ramos, Agapito, & Cuizano (2006), que la adsorción depende fuertemente del pH que corresponde a la retención máxima del metal y cada metal tiene un pH óptimo (de 3 a 5) para ser extraído. Cuando el pH se incrementa por encima del valor óptimo, la eficiencia de la biomasa decrece, a valores bajos de pH los cationes metálicos y los protones compiten por los mismos sitios de intercambio en las paredes celulares, dando como resultado una menor captación del metal.

En el caso de Ayamra (2018) sucedió que el efluente industrial no solo comprendía diversos metales (12 metales pesados) en la que la especie ligninolítica reducía su eficiencia de adsorción y su mecanismo bioadsorbente; así Qingbiao et al. (2004) nos menciona que en soluciones con más de un metal, se pueden generar tres tipos de comportamiento, sinergismo: el efecto (adsorción) de la mezcla es mayor que cuando los componentes están por individual; antagonismo: el efecto de la mezcla es inferior al de cada uno de los metales; sin interacción: cuando el efecto de la mezcla no es diferente al de los componentes por individual.

Con la revisión de eficiencia de remoción con hongos ligninolíticos se analizó que para Plomo las especies más efectiva son *Pycnoporus sanguineus* con un porcentaje de remoción de 99.89 % y *Pleurotus ostreatus* con 97.45 %; para la remoción de Cromo (VI) fue *Aspergillus niger* con 99.83 % (efluente residual), 96.98 % (solución metálica) y *Phanerochaete chrysosporium* con 96 % de remoción; para Níquel se obtuvo eficiencia de 98 % con *Phanerochaete chrysosporium*; para Hierro la especie más efectiva fue *Aspergillus niger* con 96.34 %; estipulando que para Cadmio a consideración de la remoción con otros metales es bajo con 74 %, sobretodo en Boro que llegan a una remoción de 47.29 % y 27.8 %.

De esta manera las especies más efectivas identificadas en la revisión; considerando la cantidad de metales a remover están *Aspergillus niger* que remueve Cromo y Hierro con porcentajes de 99.83% y 96.34%; *Phanerochaete chrysosporium* que remueve Cromo (VI) y Níquel con porcentajes de 96% y 98%.

Cuestionando a Monroy (2015) que menciona que *Phanerochaete chrysosporium* también podría ser utilizado para eliminar metales pesados de las aguas residuales mediante la adsorción de los mismos sobre su micelio; se demuestra con esta revisión que no se consigue

una remoción mayor de 90 % en Cromo, Cadmio y Plomo; siendo más efectivo en la remoción de Níquel (98 %).

Según Sanchez (2018), nos menciona que por lo general las curtiembres generan efluentes con altas cargas de contaminantes; en contexto con la misma problemática Lu, Liu, Liu, & Chen (2010), nos menciona que la industria textil está catalogada como una de las más contaminantes del ambiente, en particular por los procesos de acabado, como el desengomado, descruce, blanqueo, lavado, suavizado, enjuague y teñido que en relación con los procesos de curtiembres existe la presencia de metales pesados en los procesos de curtido y teñido; así lo menciona Miranda (2017), que en las industrias manufactureras, como en curtiembres el uso de diferentes compuestos del cromo son contaminantes ambientales presente en el efluente de sus aguas residuales; en el que el cromo Cr (VI) es el más utilizado en forma de cromato o como dicromato.

Analizando el vertimiento del agua residual en los países de las investigaciones tomadas se puede identificar que México es el segundo país que más usa agua residual cruda para el riego, pese a que contiene patógenos no controlados, metales pesados, plaguicidas que son generadas por industrias, generan enfermedades degenerativas crónicas en la población, México tiene una de una infraestructura deficiente para tratar aguas residuales (Lahera, 2010). En tanto Colombia según Acuatecnica (2017) el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes, la descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agropecuarios están contaminando los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana. Los vertimientos generados por el sector agrícola colombiano son los más contaminantes. A este tipo de descargas les siguen las realizadas por grandes ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla; seguidas por las del sector industrial, sobre todo por los productores de alimentos. Por ello, el tratamiento de aguas residuales en Colombia es un problema prioritario a resolver; así también, en el informe de Bauer, Castro, & Chung (2017), nos menciona que en Perú muchos de los cuerpos de agua se encuentran afectados en su calidad por parámetros asociados a las descargas de aguas industriales, que aportan fluidos ácidos o alcalinos, contaminantes como metales pesados, fosfatos, nitratos, sulfatos y altos contenidos de aceites y grasas, sólidos suspendidos y materia orgánica que se miden como BDO, DQO. Las industrias deben realizar el tratamiento de sus aguas residuales, con tecnologías adecuadas al rubro de la industria, ya sea que descarguen al sistema de alcantarillado a directamente a los cuerpos de agua.

Viendo la situación en los países de Colombia, México y Perú frente a la problemática de tratamientos a metales pesados en sus aguas residuales, infraestructuras deficientes frente a aplicaciones de tecnologías adecuadas; se puede aplicar tratamientos por especies ligninolíticas ya que poseen eficiencia en remoción de metales pesados; siendo esta una alternativa económica y biológica.

4. Conclusiones

Las diferentes especies de hongos ligninolíticos son una alternativa biológica aplicable a procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a materiales considerados como no aprovechables; así disminuir y evitar la formación, disposición y almacenamientos de lodos y desechos, contaminantes originados durante los procesos operacionales, además, con esta alternativa en el ámbito económico, los costos de implementación son bajos en comparación a tratamientos tradicionales como precipitación, oxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación, especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja.

Se obtuvo que las especies ligninolíticas estudiadas con más eficiencia de remoción de Plomo son *Pycnoporus sanguineus* en un porcentaje de remoción de 99.89 % y *Pleurotus ostreatus* con 97.45 %; para la remoción de Cromo (VI) fue *Aspergillus niger* con

99.83 % (efluente residual), 96.98 % (solución metálica) y *Phanerochaete chrysosporium* con 96 % de remoción; para Níquel se obtuvo eficiencia de 98% con *Phanerochaete chrysosporium*; para Hierro la especie más efectiva fue *Aspergillus niger* con 96.34%.

Se determinó la eficiencia en función del tiempo de tratamiento obteniendo así; las Isotermas de adsorción mediante espectrofotometría de absorción atómica con resultados durante dos días (48 horas) con el tratamiento *Pleurotus ostreatus*, el reactor neumático con el tratamiento de *Phanerochaete chrysosporium* por 4 días y el biorreactor Air Lift con el tratamiento *Penicillium citrinum* por 5 días (120 horas).

De acuerdo a la eficiencia de los hongos ligninolíticos en la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales de curtiembres y soluciones metálicas analizadas se determinó la capacidad de estos tratamientos en la aplicación de los efluentes textiles por la similitud de carga de contaminantes.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autoría

G-D, N. M.; S-C, T. C.; P-M, B. T.: Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, recopilación de datos, escritura (preparación del borrador final).

Referencias bibliográficas

- Acuatecnica. (2017). Tratamiento de aguas residuales en Colombia. Obtenido de <https://acuatecnica.com/la-situacion-del-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>
- Atlas, R., & Bartha, R. (2005). Ecología microbiana y microbiología ambiental. Madrid, España: Pearson.
- Ayamra, C. (2018). Biorremoción de metales ecotóxicos mediante cepas fúngicas nativas, 1-127. Retrieved from repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6270
- Castillejos, S. (sf). Produccion de lacasa a partir de hongos ligninoliticos utilizando vinazas y bagazo de origen mezcalero. Obtenido de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/12566.pdf
- Capdevielle, F., Ottati, C., & Lopretti, M. (2010). Bioinfo _ eXtrema : un enfoque bioinformático para integrar información ambiental , bioquímica y genómica , enfocado en bioprospección y selección de consorcios de microorganismos con aplicaciones en biorremediación, (5), 43-47. Retrieved from <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/64>
- Cuenca, E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- del Río García, A. I. (2011). Estudio de la reducción, oxidación y oxido-reduccion electroquímica aplicado a la decoloración/degradación de aguas de tinte textiles que contienen colorantes reactivos con grupos azo como cromóforo, 1-373. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12330/tesisUPV3644.pdf?sequence=1&i>

sAllowed=y

- Ensuncho, A. E., Robles, J. R., & Carriazo, J. G. (2015). Adsorción del colorante amarillo anaranjado en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos a partir de desechos agrícolas, 81(45), 1-13. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n2/a06v81n2.pdf>
- Guzman, R. A. (1997).
- Gaona, R. (2006). El Agua en Mexico, lo que todos deben saber. Obtenido de http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/aguamexico_cemda.pdf
- Gómez Bertel, S., Amaya, Bulla, D., Maldonado Saavedra, C., Martínez Salgado, M. M., Quevedo Hidalgo, B., Soto Guzman, A. B., & Pedroza Rodríguez, A. M. (2008). Evaluación de tres Hongos Lignolíticos y de *Aspergillus Niger* como Alternativa de Aguas Residuales del Curtido de Piel, 1-15. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/370/37011662001.pdf>
- Larios, J. F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). Aguas residuales y consecuencias en el Perú. Lima, Perú: Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL. Recuperado el Miercoles de Junio de 2019, de <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
- Hidalgo, Soraya. (2004). Reutilización de residuos de rapa para la eliminación de metales tóxicos en efluentes líquidos. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3673>
- Lahera, V. (2010). Infraestructura sustentable, plantas de tratamiento de aguas residuales. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40115676004.pdf>
- Las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. (2017). AGUAS RESIDUALES. <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2017/03/247647S.pdf>
- Lizarazo Becerra, J. M., & Orjuela Gutiérrez, I. M. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia, 1-82. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- Lomascolo, A., Uzan-Boukhris, E., Gilbert, I., & Lesage Messen, L. (2011). Peculiaridades de las especies *Pycnoporus* para aplicaciones en biotecnología. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/51752850_Peculiarities_of_Pycnoporus_species_for_applications_in_biotechnology
- Lu, X., Liu, L., Liu, R., & Chen, J. (2010). Textiles wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. ELSEVIER, 1-4. Obtenido de <https://wenku.baidu.com/view/4401c404e87101f69e31954d.html>
- Marín-castro, M., Tamariz, V., Castelan, R., & Linares, G. (2015). Isotermas de adsorción de Pb y Cr por la biomasa de tres cepas del hongo de la pudrición blanca *Pleurotus* spp, 1-11. Retrieved from <http://reibci.org/publicados/2015/septiembre/1200107.pdf>
- Mendez Casallas, F. J. (2013). Evaluación Preliminar de Remoción de color en aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles usando el hongo *Phanerochaete Chrysosporium* en Curtiembres camelo. Obtenido de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/606/trabajo%20de%20grado%20M%C3%A8ndez-C%20Francys%20J.pdf?sequence=1>
- Miranda Zea, N. S. (2017). Biosorción de Cromo Cr (VI) de soluciones acuosas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (*globulus labill*), 1-192. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8747/Norberto_Sixto_Miranda_Zea.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Monroy, A. (2015). *Phanerochaete chrysosporium*, hongo ligninolítico, promisorio en biorremediación, una mirada global. Obtenido de

- https://www.researchgate.net/publication/316180188_Phanerochaete_chrysosporium_hongo_ligninolítico_promisorio_en_biorremediación_una_mirada_global
- Morales Fonseca, D. M., & Ruiz Tovar, K. J. (2008). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de la podredumbre blanca inmovilizados, 1.139. <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis148.pdf>
- Moreno, C. M., González Becerra, A., & Blanco Santos, J. M. (2004). Tratamientos biológicos de suelos contaminados : contaminación por hidrocarburos . Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación, 103-120. Retrieved from <http://www.reviberoammicol.com/2004-21/103120.pdf>
- Navarro, A. E., Ramos, K. P., Agapito, R., & Cuizano, N. A. (2006). Propiedades ácido-básicas de *Lentinus edodes* y cinética de biosorción de Cadmio (II), 2(2), 47-54. Retrieved from <https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Documents/v2-n2-1-propiedades-ácido-básicas-de-lentinus-edodes.pdf>
- Patterson, J. M. (1985). Tecnología de tratamiento de aguas residuales industriales -Segunda edición. Obtenido de <https://www.osti.gov/biblio/7253209-industrial-wastewater-treatment-technology-second-edition>
- Ponce, G., Vásquez, R., Rodríguez, R., Medina, I., Lozano, J., & Jáuregui, J. (2012). Evidencia de la biodegradación de resina fenológicas con hongos ligninolíticos por microscopía electrónica de barrido, 28(2), 159-166. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n2/v28n2a7.pdf>
- Qingbiao, L., Songtao, W., Gang, L., Xinkai, L., Xu, D., Daohua, S., ... Yili, H. (2004). Simultaneous biosorption of cadmium (II) and lead (II) ions by pretreated biomass of *Phanerochaete chrysosporium*, 34, 135-142. [https://doi.org/10.1016/S13835866\(03\)00187-4](https://doi.org/10.1016/S13835866(03)00187-4)
- Rodríguez Guizabalo, M. (2018). Remoción de Plomo y Cobre en solución Acuosa Por *Pycnoporus Sanguinus* (L.) Murrill (1904) en Biorreactores Air Lift, (1904), 1-123. Retrieved from http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1593/MRG_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sala, L. F., García, S. I., González, J. C., Frascaroli, M. I., Bellú, S., Mangiameli, F., ... Peregrin, S. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho, 114-120. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3235861>
- Sanchez Mejia, D. P. (2018). Gestión de riesgo de desastres de las lagunas de oxidación de covicorti, el cortijo y propuesta para tratamiento de aguas Residuales industriales de curtiembres en la ciudad de Trujillo y distrito La Libertad, 1-198. Retrieved from http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/4170/1/RE_ING.CIVIL_DAVID.SAN_CHEZ_GESTION.RIESGO.DESASTRES.LAGUNA_DATOS.pdf
- Tovar, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico, 18(34), 109-123. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5062883.pdf>
- Varnero, M., S. Quiroz, M., & Álvarez, C. (2010). Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para la producción de del hongo (*Pleurotus ostreatus*). <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v21n2/art03.pdf>
- Zapana, S. V. (2018). Biorremediación de efluentes de curtiembres mediante hongos aislados del Parque Industrial de Río Seco (PIRS) - Arequipa, en condiciones de biorreactor tipo Airlift, 1-95. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7322/BIzahusv.pdf?sequence=1&isAllowed=y>