

**Biorremediación de plomo mediante la biomasa de *Rhizopus sp***  
**Lead bioremediation using *Rhizopus sp* biomass**APAZA-AQUINO, Hugo<sup>1</sup>; VALDERRAMA VALENCIA, María Rosario Elsa<sup>2</sup><sup>1</sup>Universidad Católica de Santa María<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Agustín**RESUMEN**

Las diversas actividades antropogénicas contaminan de alguna u otra forma los recursos ambientales; uno de los contaminantes de mayor impacto son los metales pesados. Se estudió la capacidad de remoción de plomo (II) empleando la biomasa fungal de *Rhizopus sp*. Se cultivó *Rhizopus sp* en medio caldo papa dextrosa, se trabajó en un sistema de régimen batch donde se hizo los ensayos de remoción con el metal plomo (II), evaluándose la influencia de los parámetros de pH, temperatura y concentración inicial de metal. La biomasa de *Rhizopus sp* logra remover eficientemente el metal plomo (II) de soluciones acuosas, determinándose los parámetros óptimos para la remoción de plomo (II) los valores de pH 5, temperatura de 25°C y concentración inicial de metal de 50 ppm con los que se logra la sorción de plomo (II) en 85,49 %, 84,19 % y 99,90 % respectivamente. La biorremediación representa una alternativa para tratar aguas residuales con metales pesados, por ser una tecnología de bajo costo y renovable; la biomasa fungal de *Rhizopus sp*, representa una opción para la descontaminación de plomo.

**Palabras Clave:** Biosorción, hongo, metales pesados, remoción.

**ABSTRACT**

The various anthropogenic activities pollute environmental resources in one way or another; One of the pollutants with the greatest impact is heavy metals. Lead removal capacity was studied (II) using the fungal biomass of *Rhizopus sp*. *Rhizopus sp* was grown in potato dextrose broth medium, it was worked in a batch system where the removal tests were carried out with lead metal (II), evaluating the influence of the parameters of pH, temperature and initial concentration of metal (II). The *Rhizopus sp* biomass manages to efficiently remove the lead (II) metal from aqueous solutions, determining the optimal parameters for the removal of lead, values of pH 5, temperature of 25 ° C and initial metal concentration of 50 ppm with which lead is achieved (II) in 85,49%, 84,19% and 99,90% respectively. Bioremediation represents an alternative to treat wastewater with heavy metals, as it is a low-cost and renewable technology; *Rhizopus sp* fungal biomass represents an option for lead decontamination.

**Keywords:** Biosorption, fungus, heavy mentals, removal.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista UCV HACER Campus Chiclayo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

**Recibido:** 24 de abril de 2020**Aceptado:** 18 de mayo de 2020**Publicado:** 20 de mayo de 2020

<sup>1</sup>Ingeniero Biotecnólogo, Investigador Asociación de Investigación Científica BLOSS, e-mail: Hapaza89@gmail.com ,  <https://orcid.org/0000-0002-1592-7461>

<sup>2</sup>Bióloga, Universidad Nacional de San Agustín, e-mail: marov52@yahoo.com,  <https://orcid.org/0000-0002-1515-3195>

## INTRODUCCIÓN

La rápida industrialización y urbanización han llevado a la generación de sustancias tóxicas (Mukherjee, 2016; Qayyum et al., 2016), gran cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos son generalmente arrojados al río o al suelo (Albert et al., 2018; Singh, Tripathi, Ranjan y Srivastava, 2020), lo que ha conllevado al aumento de la contaminación de la atmósfera, las superficies terrestres y las aguas subterráneas y superficiales (Singh et al., 2020); generando una cadena de contaminación (Pérez et al., 2018). Esto representa un serio problema para la salud de los humanos y los animales, por lo tanto puede tener consecuencias perjudiciales para los ecosistemas (Singh et al., 2020). Los metales pesados están presentes en las fuentes naturales como erupciones volcánicas, fuentes geogénicas, etc. pero las actividades industriales y agrícolas han contribuido aún más a la contaminación por metales pesados (Mishra, Bhattacharya y Mishra, 2019); industrias como galvanoplastia, pintura y cuero generan efluentes con metales pesados (Chaurasia, Bharati y Bharati, 2019).

A nivel mundial, cada vez es mayor la preocupación respecto a los varios problemas de salud que surgen a causa de la exposición a metales pesados (Mishra et al., 2019), en especial a plomo, cadmio y mercurio. Los metales pesados tienen efectos nocivos a nivel de toda la cadena trófica, debido su persistencia, toxicidad (Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez, 2016) y porque no son biodegradables (Pérez et al., 2018), desencadenando diversas intoxicaciones causando daños, tan graves como efectos teratogénicos, cáncer e incluso la muerte (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz y Muñoz-García, 2016). por tanto, es necesario reducir la biodisponibilidad, movilidad y toxicidad de esos elementos (Villalba-Villalba, Cruz-Campas y Azuara-Gómez, 2018), mediante la aplicación de sistemas de tratamientos.

Actualmente existen diversas tecnologías para remediar los metales pesados, tales como filtración, fitorremediación, biorremediación, precipitación química, intercambio iónico,

precipitación, electrocoagulación, osmosis inversa, entre otras. Pero el aumento de la contaminación ambiental ha exigido la necesidad de estrategias de limpieza ecológicas (Oladipo, Awotoye, Olayinka, Bezuidenhout y Maboeta, 2018); la biorremediación es una tecnología emergente e innovadora debido a su viabilidad económica, buena eficiencia y es amigable con el medio ambiente (Singh et al., 2020), la biosorción es eficiente para la descontaminación de metales a partir de aguas residuales industriales (Bhateria y Dhaka, 2019), debido a que los microorganismos cuentan con amplias capacidades metabólicas donde los metales pesados son sustratos que pueden ser inmovilizados o transformados por estos organismos (Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez, 2016).

Hay hongos que pueden acumular metales, a estos se les conoce como hiperacumuladores (Chaurasia et al., 2019); diversos hongos son aislados de lugares contaminados con metales pesados y de suelos de minas, las cuales se emplean como agentes biológicos potenciales para los procesos de biorremediación. Hongos como *Fomitopsis meliae*, *Trichoderma ghanense* y *Rhizopus microsporus* muestran tolerancia a metales como cobre, plomo y hierro (Oladipo et al., 2018), biomasa de *Phanerochaete chrysosporium* puede remover cadmio y plomo (Zhao et al., 2016), *Trichoderma harzianum* tolera metales como cadmio, plomo y cobre (Mohammadian, Babai, Arzanlou, Oustan y Khazaei, 2017), biomasa de *Mucor rouxii* es eficiente en la remoción de cadmio (II) en solución (Acosta, Moctezuma-Zárate, Cárdenas y Gutiérrez, 2007). Incluso hongos que son frecuentes en el medio ambiente como los hongos del genero *Penicillium sp* muestran una alta capacidad del para eliminar plomo (II) y cadmio (II) en solución acuosa (Sanchez, Marrugo y Urango, 2014) o *Aspergillus niger* para la biosorción de cadmio (II), níquel (II) y plomo (II) (Amini y Younesi, 2009). El mecanismo de biosorción se le atribuye a los grupos funcionales de la pared celular fúngica y los procesos que se dan en ella tales como intercambio iónico y complejación con los grupos funcionales presentes en el hongo (Gharieb, Al-Fakih y Ali, 2014). Por lo mencionado emplear

biomasa fungal representa una alternativa para la remoción de metales pesados ya sea de efluentes, de suelos contaminados entre otros.

El presente estudio pretende ofrecer una alternativa de solución a la problemática de contaminación con metales pesados, por lo que se tiene como objetivo principal determinar la remoción de plomo (II) por parte de la biomasa de *Rhizopus sp*, teniendo como variable principal el porcentaje de remoción de plomo

## METODOLOGÍA

### Cultivo de la biomasa de *Rhizopus sp*

Para la producción de biomasa se empleó el medio de cultivo caldo papa dextrosa; previamente este medio fue autoclavado a 121°C, 15 libras/pulg<sup>2</sup> por un periodo de 15 minutos, el pH fue regulado con la adición de ácido clorhídrico y/o hidróxido de sodio. La cepa fúngica fue cultivada en sistema batch, en frascos de vidrio de 100 mL, 5.2 cm de diámetro, en la que se depositó 65 mL de caldo papa dextrosa y por la técnica de punción se inoculo la cepa *Rhizopus sp* a partir de una muestra madre de *Rhizopus*, el cultivo se realizó sin agitación y se incubó a temperatura ambiente. Se realizó observaciones microscópicas en montajes con azul de lactofenol, contrastando la morfología de *Rhizopus* con el manual de identificación de hongos oportunistas (Guevara, Urcia y Casquero, 2007). Para realizar los ensayos de remoción la biomasa fungal previamente fue lavada en frascos de plástico de capacidad de 1 litro conteniendo agua destilada estéril la cual se mantuvo en agitación a 100 rpm en un shaker se lavó tres veces, cada lavado por 15 minutos, con la finalidad de retirar los residuos de ácidos, medio u otros. La biomasa empleada tenía un peso húmedo promedio de 1.6 g; disponiendo de esta manera la biomasa para ser empelada en los ensayos de remoción.

### Ensayos de remoción

Los ensayos de remoción se realizaron a distintos valores de pH, temperatura y concentración de metal, con la finalidad de encontrar los valores más adecuados que permitan una mayor remoción de plomo (II). Se preparó las soluciones de plomo a partir de una solución stock de 100 ppm de plomo (II), la cual fue preparado a partir de Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Todos los ensayos se realizaron en frascos de plástico de capacidad de 1 litro, donde se depositó 300 mL de la solución de plomo (II) a una concentración de 100 ppm posteriormente se depositó el micelio fungal lavado y se mantuvo en agitación a 90 rpm; se ensayó a pH 3, 4, y 5 se sacaron alícuotas con una jeringa acondicionada con un filtro a distintos tiempos (0, 4, 8, 20, 24 horas) para posteriormente realizar la lectura de plomo (II) en el espectrofotómetro de absorción atómica, estos ensayos se realizaron con la finalidad de elegir el pH más adecuado para la remoción de plomo (II). Para evaluar el factor de la temperatura se realizó el mismo procedimiento anterior, trabajando a pH óptimo determinado en el experimento anterior; se trabajó a temperaturas de 10°C, 25°C y 40°C. Para el efecto concentración inicial de metal se realizó el mismo procedimiento anterior, trabajando con los valores óptimos de pH y temperatura determinados en el experimento anterior; se trabajó a concentraciones de 10ppm, 50ppm y 90ppm.

Los cálculos de porcentaje de remoción y cantidad de metal removido fueron calculados con las siguientes ecuaciones:

Porcentaje de remoción:

$$\%R = \left( \frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100$$

Donde:

%R: Porcentaje de remoción

C<sub>0</sub>: Concentración inicial (mg/L)

C<sub>t</sub>: Concentración final (mg/L)

Cantidad de metal removido:

$$q = \left( \frac{C_i - C_f}{m} \right) V$$

Donde:

q: Capacidad de sorción (mg de metal/g de biosorbente)

V: Volumen de la muestra (mL)

Ci: Concentración inicial de metal en solución (mg.L<sup>-1</sup>)

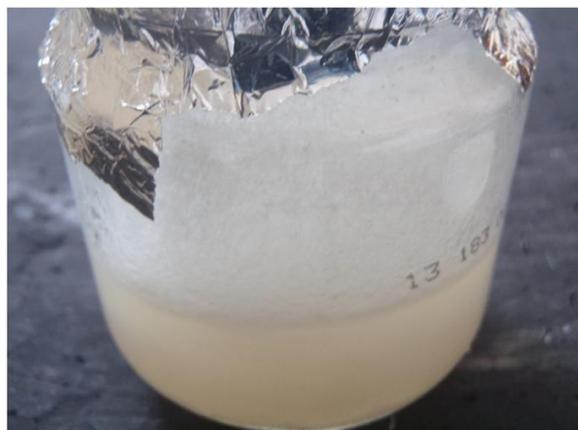
Cf: Concentración en el equilibrio de la solución (mg.L<sup>-1</sup>)

m: Cantidad de biosorbente

Para la determinación de la concentración de plomo (II) se hizo mediante el espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA - 6170IF, realizando la curva de calibración para plomo (II) a una longitud de onda de 217nm. El análisis estadístico se realizó por medio del programa Microsoft office Excel 2007, realizando la prueba de Tukey, a un valor de significancia de 0,05.

A pesar de que existen distintas maneras de cultivar la biomasa fungal, principalmente se clasifican en dos sistemas siendo el sistema batch y el sistema continuo; en el presente estudio se propaga la biomasa de *Rhizopus sp* bajo el sistema batch porque este sistema permite el desarrollo en área superficial la biomasa fungal permitiendo expandirse lo cual es adecuado para los propósitos de la biosorción; pero el desarrollo de la biomasa depende mucho del tipo de medio de cultivo empleado. Existen diversos medios de cultivo para la propagación de hongos tales como agar extracto de malta, agar Sabouraud, PDA, agar Rosa de Bengala entre otros, de estos sobresale el medio de cultivo Sabouraud, el cual usualmente viene suplementado con cloranfenicol para la inhibición de colonias bacterianas; en el presente estudio se emplea el caldo papa dextrosa, por ser un medio fácil de preparar, económico y eficiente para la producción de biomasa; en los procesos de biosorción se establece cierta relación directa de que a mayor biosorbente mayor cantidad de metal removido, entonces lo que se desea tener es la mayor cantidad de biomasa posible; el caldo papa dextrosa empleado resultó ser adecuado para estos fines, la biomasa de *Rhizopus sp* en el medio de cultivo papa dextrosa se desarrolló bien, en promedio a los 5 días ya se tenía desarrollado la biomasa; una de las

características principales de *Rhizopus sp* es que su morfología es como un hongo algodonoso tal como se aprecia en la Figura 1, la biomasa desarrollada llego a abarcar todo el frasco desarrollando una buena cantidad de biomasa.



**Figura 1.** Micelio de *Rhizopus sp* en medio de cultivo caldo papa dextrosa.

En la Figura 2 se aprecia la observación microscópica, donde se evidencia abundancia de esporas alrededor del esporangio de *Rhizopus sp*, se aprecia estolones y rizoides, además los esporangióforos no son ramificados y presentaban esporangios esféricos, estas características de acuerdo al manual de Guevara et al. (2007) corresponde a *Rhizopus sp*; por lo descrito se confirma de que se está trabajando con la cepa *Rhizopus sp*.



**Figura 2.** Observación microscópica de *Rhizopus sp* a 40 X.

En los ensayos a distintos valores de pH, se obtiene la mayor remoción de plomo (II)

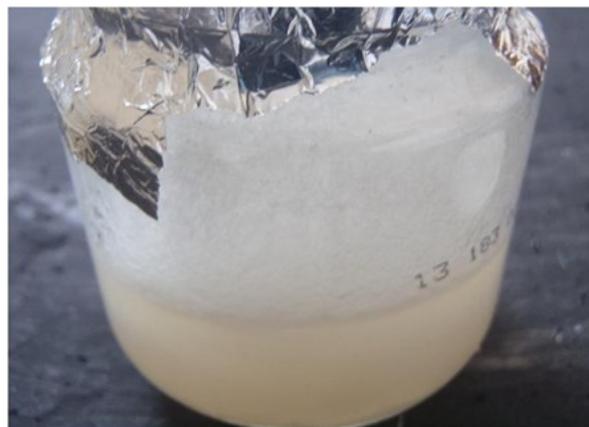
trabajando a pH 5; esto nos indica que en medios ácidos se remueve mejor este metal; a pesar de que *Rhizopus sp* produce ácidos como oxálico, láctico entre otros; estos metabolitos de por sí ya tornan el medio con un pH ácido; tras realizar el análisis estadístico a tiempo final del ensayo para plomo (II) mediante la prueba de Tukey, se obtiene que el nivel de significancia es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia estadística entre los porcentajes de remoción para plomo (II) trabajando a pH 3, pH 4 y pH 5 por parte de *Rhizopus sp*. En la Figura 4 se aprecia que la mayor capacidad de sorción de metal plomo (II) se obtiene trabajando a pH 5, con un valor de 5.34 mg/g; determinado el pH óptimo se procedió a realizar los ensayos del factor temperatura a pH 5.

## RESULTADOS

A pesar de que existen distintas maneras de cultivar la biomasa fungal, principalmente se clasifican en dos sistemas siendo el sistema batch y el sistema continuo; en el presente estudio se propaga la biomasa de *Rhizopus sp* bajo el sistema batch porque este sistema permite el desarrollo en área superficial la biomasa fungal permitiendo expandirse lo cual es adecuado para los propósitos de la biosorción; pero el desarrollo de la biomasa depende mucho del tipo de medio de cultivo empleado. Existen diversos medios de cultivo para la propagación de hongos tales como agar extracto de malta, agar Sabouraud, PDA, agar Rosa de Bengala entre otros, de estos sobresale el medio de cultivo Sabouraud, el cual usualmente viene suplementado con cloranfenicol para la inhibición de colonias bacterianas; en el presente estudio se emplea el caldo papa dextrosa, por ser un medio fácil de preparar, económico y eficiente para la producción de biomasa; en los procesos de biosorción se establece cierta relación directa de que a mayor biosorbente mayor cantidad de metal removido, entonces lo que se desea tener es la mayor cantidad de biomasa posible; el caldo papa dextrosa empleado resultó ser adecuado para estos fines, la biomasa de *Rhizopus sp* en el medio de cultivo papa dextrosa se desarrolló bien, en promedio a los 5 días ya se tenía desarrollado la biomasa; una de las

características principales de *Rhizopus sp* es que su morfología es como un hongo algodonoso tal como se aprecia en la Figura 1, la biomasa desarrollada llegó a abarcar todo el frasco desarrollando una buena cantidad de biomasa.

**Figura 1.** Micelio de *Rhizopus sp* en medio de cultivo caldo papa dextrosa.

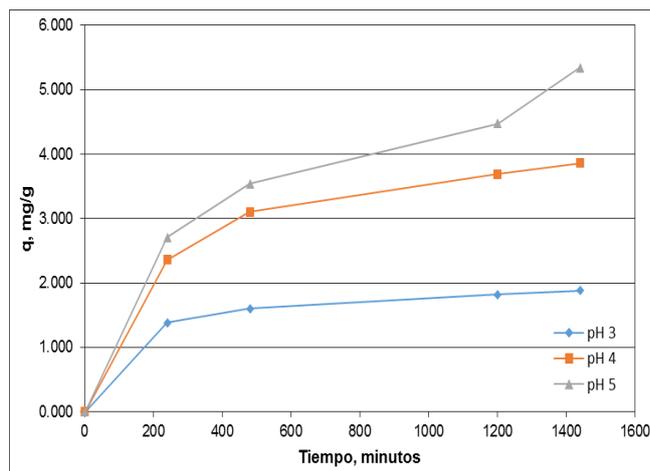


En la Figura 2 se aprecia la observación microscópica, donde se evidencia abundancia de esporas alrededor del esporangio de *Rhizopus sp*, se aprecia estolones y rizoides, además los esporangióforos no son ramificados y presentaban esporangios esféricos, estas características de acuerdo al manual de Guevara et al. (2007) corresponde a *Rhizopus sp*; por lo descrito se confirma de que se está trabajando con la cepa *Rhizopus sp*.



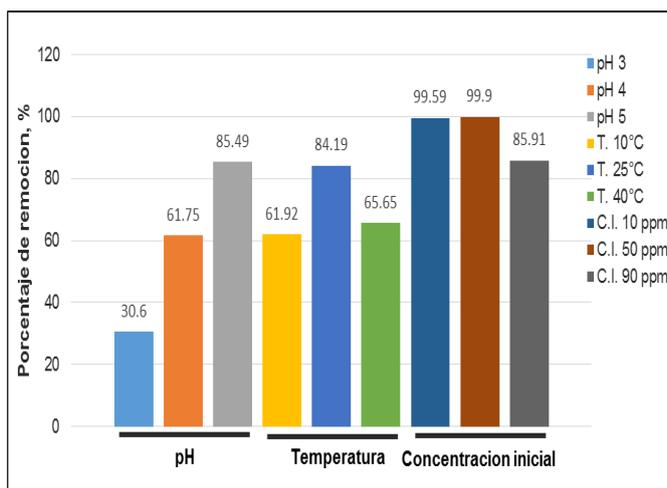
**Figura 2.** Observación microscópica de *Rhizopus sp* a 40 X.

En los ensayos a distintos valores de pH, se obtiene la mayor remoción de plomo (II) trabajando a pH 5; esto nos indica que en medios ácidos se remueve mejor este metal; a pesar de que *Rhizopus sp* produce ácidos como oxálico, láctico entre otros; estos metabolitos de por sí ya tornan el medio con un pH ácido; tras realizar el análisis estadístico a tiempo final del ensayo para plomo (II) mediante la prueba de Tukey, se obtiene que el nivel de significancia es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia estadística entre los porcentajes de remoción para plomo (II) trabajando a pH 3, pH 4 y pH 5 por parte de *Rhizopus sp*. En la Figura 4 se aprecia que la mayor capacidad de sorción de metal plomo (II) se obtiene trabajando a pH 5, con un valor de 5.34 mg/g; determinado el pH óptimo se procedió a realizar los ensayos del factor temperatura a pH 5.

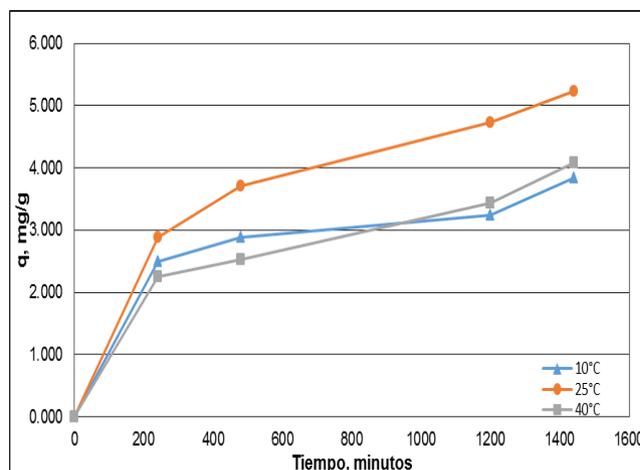


**Figura 4.** Capacidad de biosorción de plomo (II) por *Rhizopus sp* a distintos valores de pH.

En cuanto al factor temperatura a tiempo final trabajando a 10°C, 25°C y 40°C, se remueve plomo (II) en 61.92%, 84.19% y 65.65% respectivamente. De acuerdo a la Figura 5 se obtiene mayor capacidad de biosorción cuando se trabaja a temperatura de 25°C obteniéndose 5.23 mg/g y tras realizar el análisis estadístico a tiempo final del ensayo para plomo (II) mediante la prueba de Tukey se obtiene que el nivel de significancia es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia estadística entre los porcentajes de remoción para plomo (II) trabajando a temperaturas de 10°C, 25°C y 40°C por parte de la biomasa de *Rhizopus sp*. Tras determinar los parámetros óptimos de pH 5 y temperatura de 25°C, el siguiente ensayo se realizó con estos valores.

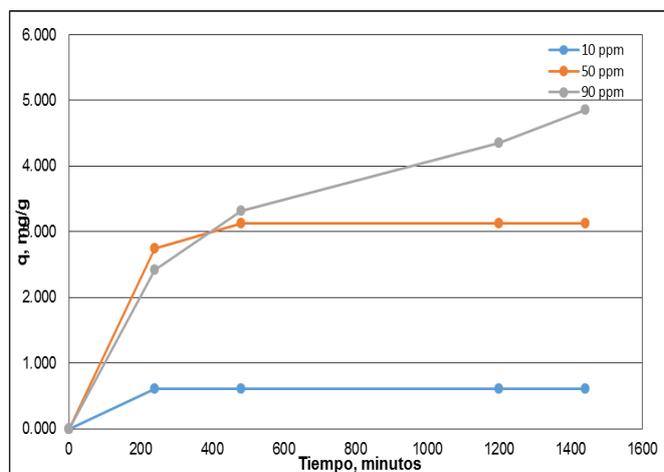


**Figura 3.** Porcentajes de remoción de plomo (II) por parte de *Rhizopus sp* a distintos tratamientos de pH, temperatura y concentración inicial de metal.



**Figura 5.** Capacidad de biosorción de plomo (II) por *Rhizopus sp* a distintas temperaturas.

En cuanto al factor de la concentración inicial de metal, la biomasa de *Rhizopus sp* trabajando a concentraciones de 10ppm, 50ppm y 90ppm remueve plomo en 99.59%, 99.90% y 85.91 % respectivamente. En la Figura 6 se aprecia que la mayor capacidad de biosorción se logra al trabajar con una concentración inicial de metal de 90 ppm, obteniéndose una sorción de 4.85 mg/g. Mediante el análisis estadístico de la prueba Tuckey a tiempo final del ensayo para plomo (II), se determinó que no existe diferencia estadística entre los porcentajes de remoción trabajando a concentración de 10ppm y 50ppm por parte de biomasa de *Rhizopus sp*. Estos resultados confirman que el valor de la concentración de metal inicial influye fuertemente en la remoción de metales pesados como plomo (II); al trabajar a concentraciones menores a 50ppm se da una mayor remoción de plomo mediante el uso de la biomasa de *Rhizopus sp*, concentraciones altas de metales pesados generan toxicidad en el microorganismo.



**Figura 6.** Capacidad de biosorción de plomo (II) por *Rhizopus sp* a distintas concentraciones iniciales de metal.

## DISCUSIÓN

Trabajar con biomasa fungal representa una alternativa para la remoción de contaminantes porque hay microorganismos que se desarrollan en lugares contaminados y son estos potenciales para los usos de biorremediación. Qayyum et al. (2016), lograron aislar hongos de suelos

contaminados con plomo con una concentración de 26385,44 mg.kg<sup>-1</sup>; esto es una clara muestra de ello. Diversas especies de hongos toleran metales entre uno de ellos se encuentra *Rhizopus*. En el presente estudio se emplea *Rhizopus sp* porque es un hongo que desarrolla abundante biomasa y es un hongo el cual está catalogado como potencial agente biorremediador, tal es el caso de la especie de *Rhizopus cohnii*, como un biosorbente eficiente para eliminar el cadmio de las aguas residuales (Luo, Xiao y Luo, 2010).

Cuando se emplea la biorremediación se debe considerar algunos factores que influyen en la biosorción como son: el tipo de microorganismo, concentración y estado de la biomasa, temperatura, pH y concentración de los iones metálicos (Pérez et al., 2018). En cuanto al pH en el presente estudio se obtiene mayor porcentaje de remoción trabajando a pH 5, similar estudio realizado por Gharieb et al. (2014) que empleando la biomasa de *Rhizopus oryzae*, obtiene una máxima remoción de plomo trabajando a un pH 4; por lo que se obtiene buena eficiencia de remoción a pH ácido. En cuanto a la temperatura se obtiene la mayor remoción a 25 °C esto resulta favorable debido a que en un eventual escalamiento a nivel planta, no involucraría el uso de sistemas de calentamiento, porque la temperatura ambiente en ciudades como Trujillo, Arequipa y Lima en promedio es alrededor de 22 °C; esto se traduciría en un ahorro de energía y economía. En cuanto a la biomasa es importante considerar la cantidad que se aplicara además del tipo de biomasa, *Rhizopus sp* desarrolla una abundante biomasa, lo cual hace propicio para proceso de sorción por el área superficial que hay disponible para la captación de metales, incluso se puede usar biomasa seca de *Rhizopus oryzae* para la remoción de metales pesados (Mcafee, Gould, Nadeau y Da Costa, 2001), o también biomasa procesada tal como el estudio realizado por Naeimi, Foroutan, Ahmadi, Sadeghzadeh y Ramavandi (2018) que emplearon biomasa de *Rhizopus oryzae* modificada alcalinamente con NaOH y reportan una remoción de plomo (II) en 95.66% a condiciones de pH, temperatura, tiempo de contacto y dosis de bioadsorbente de 6, 25 °C,

70 minutos y 3 g/L respectivamente partiendo de una concentración inicial de 10 mg/L.

La biomasa de *Rhizopus sp* no solo remueve plomo si no que ha sido empleado como agente biorremediador para otros metales; las células secas de *Rhizopus arrhizus* son una alternativa potencial en la eliminación de iones de hierro (III), plomo (II) y cadmio de las aguas residuales industriales (Özer, Ekiz, Özer, Kutsal y Çaglar, 1997), *Rhizopus sp* remueve exitosamente cromo VI (Espinoza-Sánchez, Arévalo-Niño, Quintero-Zapata, Castro-González y Almaguer-Cantú, 2019). Esta remoción por parte de la biomasa de *Rhizopus* se le atribuye a los grupos carboxílicos y grupos amino que posee (Khan, Umer y Rehman, 2013), las paredes celulares de los hongos tienen como composición principal, los polisacáridos (80-90%), el contenido restante incluye iones inorgánicos, polifosfatos, lípidos y proteínas (Shakya, Sharma, Meryem, Mahmood y Kumar 2016).

Como se muestra en el presente estudio la biorremediación es una alternativa que presenta diversas ventajas en contraste con los métodos convencionales, de los que se destaca bajo costo, alta eficiencia, minimización de productos químicos, no necesita nutrientes adicionales, incluso permite la posibilidad de recuperación de metales (Khan et al., 2013; Pérez et al., 2018). Actualmente la biorremediación avanza a pasos grandes, mediante el uso de técnicas de ingeniería genética se manipulan las cepas microbianas que exhiben naturalmente buenas capacidades biorremediadoras para generar microorganismos con capacidades potenciadas (Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez, 2016). Si no se llega a realizar tratamiento alguno a estos metales pesados pueden desencadenar una contaminación a distintos niveles, el ser humano indirectamente acumula plomo en su interior al consumir productos contaminados. El presente estudio representa una alternativa para el tratamiento de metales pesados como el plomo; a pesar de que este estudio solo es escala laboratorio, lo cierto es que uno de los mayores retos para la comunidad científica afronta es que

todos los modelos escala laboratorio puedan ser empleados a nivel campo.

## CONCLUSIONES

La biomasa de *Rhizopus sp* logra remover eficientemente el metal plomo (II) de soluciones acuosas, pero esta sorción está sujeta a diversos factores entre ellos el pH, temperatura y concentración inicial. Se determinó como parámetros óptimos para su remoción los valores de pH 5, temperatura de 25°C y concentración inicial de metal de 50 ppm con los que se logra la remoción de plomo (II) en 85.49 %, 84.19 % y 99.90 % respectivamente. La biorremediación de plomo (II) empleando biomasa fungal de *Rhizopus sp*, representa una alternativa para la descontaminación de este metal.

## REFERENCIAS

- Acosta, I., Moctezuma-Zárate, M. de G., Cárdenas, J. F., & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción de Cadmio (II) en Solución Acuosa por Biomasa Fúngica. *Información Tecnológica*, 18(1), 9–14. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000100003>.
- Albert, Q., Leleyter, L., Lemoine, M., Heutte, N., Rioult, J. P., Sage, L., Baraud, F., & Garon, D. (2018). Comparison of tolerance and biosorption of three trace metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus *Absidia cylindrospora*. *Chemosphere*, 196, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.156>
- Amini, M., & Younesi, H. (2009). Biosorption of Cd(II), Ni(II) and Pb(II) from aqueous solution by dried biomass of *Aspergillus niger*: Application of response surface methodology to the optimization of process parameters. *Clean Soil Air Water*, 37(10), 776–786. <https://doi.org/10.1002/clean.200900090>
- Beltrán-Pineda, M. E., y Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales

- pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bhateria, R., & Dhaka, R. (2019). Optimization and statistical modelling of cadmium biosorption process in aqueous medium by *Aspergillus niger* using response surface methodology and principal component analysis. *Ecological Engineering*, 135 (September 2018), 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.010>
- Chaurasia, P. K., Bharati, S. L., & Mani, A. (2019). Significances of fungi in bioremediation of contaminated soil. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 281–294). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64191-5.00020-1>
- Espinoza-Sánchez, M. A., Arévalo-Niño, K., Quintero-Zapata, I., Castro-González, I., & Almaguer-Cantú, V. (2019). Cr(VI) adsorption from aqueous solution by fungal bioremediation based using *Rhizopus sp*. *Journal of Environmental Management*, 251 (February), 109595. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109595>
- Gharieb, M. M., Al-Fakih, A. A., & Ali, M. I. (2014). Biosorption of pb(II) and co(II) ions from aqueous solutions using pretreated *Rhizopus oryzae* (Bread Mold). *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(4), 2435–2446. <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0784-x>
- Guevara, M., Urcia, F., & Casquero, J. (2007). *Manual de procedimientos y técnicas de laboratorio para la identificación de los principales hongos oportunistas causantes de micosis humanas*. Recuperado de [http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Manual\\_HONGOS\[1\].pdf](http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Manual_HONGOS[1].pdf)
- Khan, S., Umer, A. S. M., & Rehman, W. (2013). Biosorption of Lead by *Rhizopus stolonifer* Biomass: Role of Functional Groups. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 13(3/4), 21–28. <https://doi.org/10.18311/jeoh/2013/1715>
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Luo, J.-M., Xiao, X., & Luo, S.-L. (2010). Biosorption of cadmium (II) from aqueous solutions by industrial fungus *Rhizopus cohnii*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(6), 1104–1111. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60264-8](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60264-8)
- Mcafee, B. J., Gould, W. D., Nadeau, J. C., & Da Costa, A. C. A. (2001). Biosorption of metal ions using chitosan, chitin, and biomass of *Rhizopus oryzae*. *Separation Science and Technology*, 36(14), 3207–3222. <https://doi.org/10.1081/SS-100107768>
- Mishra, A., Bhattacharya, A., & Mishra, N. (2019). Mycorrhizal symbiosis: an effective tool for metal bioremediation. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 113–128). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818258-1.00007-8>
- Mohammadian, E., Babai Ahari, A., Arzanlou, M., Oustan, S., & Khazaei, S. H. (2017). Tolerance to heavy metals in filamentous fungi isolated from contaminated mining soils in the Zanjan Province, Iran. *Chemosphere*, 185, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.022>
- Mukherjee, A. (2016). Role of *Aspergillus* in Bioremediation Process. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Aspergillus System Properties and Applications* (pp. 209–214). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00017-8>
- Naeimi, B., Foroutan, R., Ahmadi, B., Sadeghzadeh, F., & Ramavandi, B. (2018). Pb(II) and Cd(II) removal from aqueous solution, shipyard wastewater, and landfill leachate by modified *rhizopus oryzae* biomass. *Materials Research Express*, 5(4), 045501. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aab81b>
- Oladipo, O. G., Awotoye, O. O., Olayinka, A., Bezuidenhout, C. C., & Maboeta, M. S.

- (2018). Heavy metal tolerance traits of filamentous fungi isolated from gold and gemstone mining sites. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.06.003>
- Özer, A., Ekiz, H. I., Özer, D., Kutsal, T., & Çağlar, A. (1997). A staged purification process to remove heavy metal ions from wastewater using *Rhizopus arrhizus*. *Process Biochemistry*, 32(4), 319–326. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(96\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(96)00091-X)
- Pérez Bou, L., Salgado Bernal, I., Larrea Duarte, C., Martínez Sardiñas, A., Cruz Arias, M. E., & Carballo Valdés, M. E. (2018). Biosorción microbiana de metales pesados : características del proceso. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 6(1), 1–12. Recuperado de <http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/216>
- Qayyum, S., Khan, I., Maqbool, F., Zhao, Y., Gu, Q., & Peng, C. (2016). Isolation and characterization of heavy metal resistant fungal isolates from industrial soil in China. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(5), 1241–1247. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/297732291\\_Isolation\\_and\\_characterization\\_of\\_heavy\\_metal\\_resistant\\_fungal\\_isolates\\_from\\_industrial\\_soil\\_China](https://www.researchgate.net/publication/297732291_Isolation_and_characterization_of_heavy_metal_resistant_fungal_isolates_from_industrial_soil_China)
- Sanchez, J. G., Marrugo, J. L., & Urango, I. D. (2014). Biosorción simultanea de plomo y cadmio en solución acuosa por biomasa de hongos *Penicillium* sp. *Temas Agrarios*, 19(1), 63–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.725>
- Shakya, M., Sharma, P., Meryem, S. S., Mahmood, Q., & Kumar, A. (2016). Heavy Metal Removal from Industrial Wastewater Using Fungi: Uptake Mechanism and Biochemical Aspects. *Journal of Environmental Engineering*, 142(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000983](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000983)
- Singh, P., Borthakur, A., Singh, V. K., Singh, R., Madhav, S., Ahamad, A., Kumar, A., Pal, D. B., Tiwary, D., & Mishra, P. K. (2020). Bioremediation: a sustainable approach for management of environmental contaminants. In *Abatement of Environmental Pollutants*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00001-1>
- Singh, R. K., Tripathi, R., Ranjan, A., & Srivastava, A. K. (2020). Fungi as potential candidates for bioremediation. In *Abatement of Environmental Pollutants* (pp. 177–191). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818095-2.00009-6>
- Villalba-Villalba, A. G., Cruz-Campas, M. E., & Azuara-Gómez, G. V. (2018). *Aspergillus Niger* Tiegh., aislado en Sonora, México: Evaluación de tolerancia a metales. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 24(2), 131–146. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.03.023>
- Zhao, M. hua, Zhang, C. sheng, Zeng, G. ming, Huang, D. lian, & Cheng, M. (2016). Toxicity and bioaccumulation of heavy metals in *Phanerochaete chrysosporium*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(5), 1410–1418. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64245-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64245-0)