

ABSORCIÓN DE METALES PESADOS POR PLEUROTUS OSTREATUS EN SEDIMENTOS EN EL RIO MOCHE, LA LIBERTAD

HEAVY METAL UPTAKE BY PLEUROTUS OSTREATUS IN SEDIMENTS IN THE MOCHE RIVER, LA LIBERTAD

Armando Gil Rivero¹  David Castillo Lázaro¹  Segundo López Medina¹ 
José Mostacero León¹  Anthony De La Cruz Castillo¹ 

¹Universidad Nacional de Trujillo- Trujillo, Perú.

Correspondencia:

Dr. Armando Efraín Gil Rivero
arivero@unitru.edu.pe

Como citar este artículo: Gil, A., Castillo, D., López, S., Mostacero, J., & De La

Cruz, A. (2024). ABSORCIÓN DE METALES PESADOS POR PLEUROTUS OSTREATUS EN SEDIMENTOS EN EL RIO MOCHE, LA LIBERTAD. (n.d.). *Revista De Investigación Científica Huamachuco*, 2(2), 61-77. <https://doi.org/10.61709/4segek765>

RESUMEN

El presente trabajo investigó la capacidad de absorción de metales pesados por *Pleurotus ostreatus* en sedimentos del río Moche. La metodología fue de tipo aplicada, con un diseño experimental factorial, se aplicó Shapiro-Wilk; ANOVA unifactorial y post hoc de Tukey. Se identificaron ocho metales pesados cuyos valores son altos, entre ellos destacan As (1131,43 mg/kg), Ti (885,94 mg/kg), Zn (294,54 mg/kg) y Pb (257,52 mg/kg). Los mejores porcentajes de absorción se mostraron en Sb, en los T4, T5 y T6, con 72,28 %, 67,65 % y 72,37 %, respectivamente. Luego el Ti, con 49,70 %, 51,62 % y 54,15 %, en los T1, T2 y T3, respectivamente. La dosificación óptima con diferencias significativas ($p < 0,05$), se evidenciaron en las concentraciones de 20 y 40 días de evaluación para el Cu, Pb, Sb y Ti. Se concluyó que *P. ostreatus* tiene eficiente capacidad de absorción: en As (188,17 mg/kg); en Cu (5,49 mg/kg); en Ni (1,95 mg/kg); en Pb (65,09 mg/kg); en Sb (2,71 mg/kg); en Sn (0,20 mg/kg); en Ti (479,72 mg/kg) y Zn (53,17 mg/kg).

Palabras clave: absorción, *Pleurotus ostreatus*, metales pesados

ABSTRACT

This work investigated the absorption capacity of heavy metals by *Pleurotus ostreatus* in sediments of the Moche River. The methodology was applied, with a factorial experimental design, Shapiro-Wilk; one-way ANOVA and Tukey's post hoc. Eight heavy metals were identified with high values, among them As (1131.43 mg/kg), Ti (885.94 mg/kg), Zn (294.54 mg/kg) and Pb (257.52 mg/kg). The best absorption percentages were shown in Sb, in T4, T5 and T6, with 72.28 %, 67.65 % and 72.37 %, respectively. Then Ti, with 49.70 %, 51.62 % and 54.15 %, in T1, T2 and T3, respectively. The optimal dosage with significant differences ($p < 0.05$) was evident in the concentrations of 20 and 40 days of evaluation for Cu, Pb, Sb and Ti. It was concluded that *P. ostreatus* has efficient absorption capacity: in As (188.17 mg/kg); in Cu (5.49 mg/kg); in Ni (1.95 mg/kg); in Pb (65.09 mg/kg); in Sb (2.71 mg/kg); in Sn (0.20 mg/kg); in Ti (479.72 mg/kg) and Zn (53.17 mg/kg).

Keywords: absorption, *Pleurotus ostreatus*, heavy metals



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el uso de productos metálicos en el agua ha causado una grave contaminación (Vallejo et al., 2021), al crecimiento económico, desarrollo agrícola, industrial y minero, la contaminación por metales pesados ha aumentado significativamente (Zhu et al., 2020). Actualmente, la contaminación de metales pesados en el recurso agua es uno de los mayores problemas ambientales, especial para los seres humanos debido a la toxicidad (Pabón et al., 2021). La Asamblea Nacional de Afectados informó que las empresas mineras en México invierten entre el 0,5 % y el 1,5 % de sus ventas anuales para pagar el daño ambiental, en comparación con el 3 % al 5 % en Europa, Estados Unidos y Canadá; prohibiendo la utilización de cianuro en mina (Martínez, 2021).

Una de las causas de la contaminación por metales pesados es la actividad humana, en la que son comunes las actividades mineras, fundición (Pabón et al., 2021). El agua potable es la fuente de bienes necesarios para los humanos, alimentos, refugio, eliminación de contaminación, enzimas, entre otros (Zaboloy, 2021). Esto significa que muchas actividades humanas en la tierra se han vuelto muy difíciles (FAO & GTIS, 2015). Es innegable que la industria minera ha contribuido económica (Cusiche et al., 2021) y socialmente al desarrollo, pero al mismo tiempo su impacto ambiental también es significativo (Attiogbe et al., 2020), especialmente por la alta concentración de metales pesados en el agua, fuentes que exceden los estándares de calidad del agua (Attiogbe y Nkansah, 2017; Siddiqui y Pandey, 2019). Este daño ambiental ocurre no solo en el agua, sino también en el suelo cercano a las minas de oro (Niane et al., 2019), donde la principal concentración es el Hg, que tiene efectos negativos en la salud humana (Budnik y Casteleyn, 2019). Alrededor del 40 % de los mineros mostraron concentraciones de Hg en sangre, orina

y/o cabello por encima de los umbrales de la OMS (Ramos et al., 2021), esto es gracias a la técnica de la amalgamación de mercurio en el procesamiento de minerales, que conduce a la descarga de cianuro y otros relaves ricos en metales a los cuerpos de agua (Ofosu et al., 2020).

La minería es una de las principales industrias que impulsa el desarrollo del Perú y su economía, pero esta actividad suele provocar conflictos ambientales (Cano, 2021), afectan gravemente la salud de 70,000 mineros (Chen et al., 2022); la exposición directa al Hg gaseoso y la lixiviación de las fuentes de agua (Martínez, 2021). Por esta razón, la contaminación por la minería produce sustancias tóxicas y abundantes como Hg, As, Pb (Covarrubias y Peña, 2017). La presencia de metales pesados en el ambiente y alimentos puede provocar teratogénesis, cáncer y la muerte (Londoño et al., 2016). Actualmente, en el Rio Moche se tiene gran contaminación por la minería, allí se almacenan metales pesados en sedimentos. La acumulación de metales pesados es un problema social y ambiental a causa de la toxicidad (Cupe & Juscamai, 2018).

Vallejo et al., (2021) en su estudio tuvo como objetivo demostrar la eficiencia del *P. ostreatus* en la absorción de metales pesado en aguas residuales. El método fue la adsorción micelial utilizando el Kirk modificado para su análisis y estimar la cantidad de cada elemento retenido durante días. Los resultados muestran que el Pb (75 %) tiene la mayor capacidad de adsorción, seguido del Cr (42 %) y el Cd (2,25 %). Concluyeron que la cepa de *P. ostreatus*. mostró una tolerancia significativa a la biosorción ($p: \leq 0,05$) a Pb y Cr, por lo que podría ser un verdadero biomaterial de biorremediación para estos metales.

Castillo, (2023) se propuso el uso de hongos para favorecer condiciones ácidas y oxidantes en el medio de cultivo, con la finalidad de oxidar el As (III) a As (V), el cual es menos tóxico y posteriormente, favorecer la formación del mineral, bioscorodita ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), reconocido como un compuesto estable para la disposición de As. Se realizó el cultivo y las pruebas de toxicidad *in vitro* de cuatro cepas fúngicas; dos ascomicetos: *Trichoderma atroviride* y *Aspergillus niger*, y dos basidiomicetos: *Postia placenta* y *Phanerochaete chrysosporium*, en presencia de sales de As (III) y As (V). Se concluyó que, los hongos basidiomicetos y ascomicetos estudiados presentan mayor tolerancia al As (III) que al As (V), el cual es considerado más tóxico en los seres humanos.

Yanyan et al., (2021) en su investigación usó residuos de hongos comestibles de desechos agrícolas en aguas residuales, para absorber iones de Pb II. Los resultados de ANOVA mostraron que el valor *p* de la concentración de plomo Pb II y la concentración de residuos de hongos comestibles, fueron 0,0489 y 0,0435, respectivamente. En óptimas concentraciones de Pb II de 483,83 mg/L, pH de 5,89 y concentración de residuos de hongos comestibles de 4,99 g/L., el R máximo que se predijo y verificó experimentalmente de Pb II llegó al 76,34 %. Se concluye que los residuos de hongos comestibles se pueden utilizar como adsorbente eficaz, para eliminar los iones Pb II de las aguas residuales.

Valenzuela, (2022) en su investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del suelo contaminado con Hg y Cd de las minas en la región de El Oro de Zaruma sobre los hongos ostra y los hongos *A. niger*. Se seleccionaron 12 muestras en seis tubos de ensayo para agregar 5 UFC/ml de *P. ostreatus* o *A. niger*. En Hg disminuyó de 51,45 mg/kg a 31,25

mg/kg, y en el suelo tratado con *A. niger* de 54,2 mg/kg, se redujo a 47,05 mg/kg. En Cd el contenido fue de 38,05 mg/kg a 25,05 mg/kg; mientras que, *A. niger* fue de 39,15 mg/kg a 19,5 mg/kg. Con estos resultados se demuestra la utilidad de los microorganismos en procesos de remediación ambiental.

Goligar & Khavarinejad, (2023) estudiaron el hongo *P. eryngii* el cual puede absorber Pb y Cd en aguas residuales industriales. Analizaron la concentración de metales pesados mediante espectrometría de absorción atómica, mediante fotometría de llama. Los resultados mostraron que diferentes concentraciones de los dos metales pesados tuvieron un efecto significativo sobre la micorremediación. La alta tolerancia a la contaminación por metales pesados en los medios de cultivo y su capacidad de acumularse de Pb y Cd confirman que, *P. eryngii* es una buena opción para retener los contaminantes en el ambiente.

Pérez & Vásquez (2018) en su tesis, tuvieron como objetivo evaluar el efecto de las semillas de *P. ostreatus* sobre metales pesados en Algamarca, en Cajabamba. Los resultados iniciales para As (50,00 mg/kg); para Pb (20,14 mg/kg); Zn (86,00 mg/kg) y Ni (13,38 mg/kg). Metales como Ag, Fe, Hg, Mo y Se no presentan cambios significativos en la absorción. Además, el Cd tuvo un efecto positivo en la absorción de metales pesados en un 77,23 % en la réplica 2; el Cu tiene un 40,07 % de repetición 2, el Pb tiene un 68,97 % de repetición 3; el Sr en la repetición 3, con un valor de 69,20 % y Ni, 66 % en la repetición 1.

De acuerdo con los estudios encontrados, se sustenta la base teórica en función de la capacidad de absorción, la cual es un proceso de transferencia de masa en el que los desechos se transfieren



mediante reacciones químicas o físicas (Chang et al., 2016). Por lo tanto, la tecnología de adsorción es un método de purificación simple, barato, flexible, fácil de fabricar y que no produce contaminantes tóxicos (Demirbas, 2016). Cabe señalar que la mayoría de los contaminantes provienen de metales o industrias como: Pb, Hg, Cr, Cd, As, Zn, etc.

La minería del Perú es importante para la económica como principal motor e inductor, generador de empleo y oportunidades (Attigbe, 2020), pero también es uno de los principales responsables de afectar el medio ambiente y a los seres humanos con metales pesados (FAO & PNUMA, 2022). Entre ellos están el As, se encuentra en ambientes naturales a más de 800 m de profundidad y debido a las diferentes actividades, se libera y entra en contacto con las aguas subterráneas (Navarro, 2019), este metaloide o semimetal es un elemento esencial de muchos organismos vivos (Armenteros & Baldo, 2022). En ese sentido las relaveras, son una fuente de emisiones de pequeñas partículas que contienen metales que son transportadas por el viento y depositadas en el suelo, el agua y la vegetación circundante (Farfán, 2018). Es así como el uso de Hg y As en las operaciones mineras generan contaminación del suelo y el agua (FAO & PNUMA, 2022). Además, puede afectar la parte natural del ecosistema, alterando su funcionamiento y estabilidad (Cano, 2021). A todo esto, la contaminación se refiere a la cantidad de desechos que hay en el suelo (Sifuentes, 2014). En consecuencia, se evidencian los metales pesados en el suelo como Pb, Cd, Cr, As y otros metales (Ahmed et al., 2013; Trivedi & Axe, 2000).

Los metales pesados son de gran preocupación en diferentes ecosistemas por las concentraciones elevadas de Cd, estas están presentes en el suelo y aguas subterráneas (Kubieri et al., 2019), otra

gran preocupación lo manifiesta Mohan et al. (2006), quienes afirman que el contenido de Hg en las aguas subterráneas naturales y superficiales es inferior a 0,5 µg/L, pero es mayor en las aguas residuales vertidas cerca de depósitos minerales, de igual manera, Cayetano, (2019), en su estudio reportó la relación entre la ingesta prolongada de agua que contiene As y enfermedades crónicas como diabetes, anemia megaloblástica y lesiones cutáneas por arsénico. El Pb también es un metal muy agresivo y es utilizado en la fabricación de productos metálicos y estos llegan a las aguas (Mohammad et al., 2017). Es así, como se evidencia el mayor aporte de contaminación en las aguas por metales pesados, siendo preocupante en función al riesgo humano y ambiental (US EPA, 2019). Por ende, los metales pesados presentan un peso específico igual a 5 g/cm³ o mayor, incluye los metales del grupo IIA, IIIB, IVB, VB y VIB de la tabla periódica (Akinbiyi, 2000; Royal Society of Canada, 1986). Los más importantes son: Pb, Cd, Hg, Zn, Co, Cr, Ni, Cu y As (Llaczka, 2021). La solubilidad y movilidad de los metales dependen de su estado de oxidación y de su forma iónica (Urrutia, 2019). Estos metales fueron producidos en el lugar de origen de roca y son evidencia de la actividad productiva del pueblo (Farfán, 2018).

La biorremediación, es un método basada en la utilización de organismos vivos, como; plantas, algas, hongos y bacterias, con la finalidad de degradar los contaminantes (Díaz, 2020). El uso de hongos o bacterias es descomponer contaminantes a niveles en los que no presente un riesgo para la salud ni para el medio ambiente (Obispo & Ramos, 2019). Este hongo tiene la capacidad de producir enzimas extracelulares que catalizan reacciones en la degradación de lignina (Simbaña, 2016). Por esta característica destructiva, a nivel químico, es que estas enzimas son útiles para la degradación

de distintos contaminantes (Torres, 2020). Cabe resaltar en específico, su importancia en los tratamientos biológicos de suelos contaminados, porque ayuda en la mineralización de los contaminantes orgánicos (Sifuentes, 2014). La interacción del hongo en metales pesados es que sobreviven en ambientes de alta concentración (Yu et al., 2021). La pared celular de estos hongos tienden adoptar capacidades de unión a metales, es decir la bioacumulación (Sassine et al., 2022).

El *P. ostreatus*, es un hongo comestible de mucha importancia por el rápido crecimiento micelial, capacidad de colonización saprófita, técnica de cultivo sencilla y económica (Vogel & Salmones, 2000). Su versatilidad y adaptabilidad de las especies de *Pleurotus* ya que toleran un rango de temperaturas amplio, demuestran resistencia a enfermedades y plagas (Raman et al., 2021). Presentan un alto rendimiento, mayor aprovechamiento del sustrato, ausencia de esporas y amplia tolerancia química (Bellettini et al., 2019). Como opción viable existen hongos filamentosos con propiedad de tolerancia y biosorción de Pb y tienen el potencial para ser empleados en técnicas de biorremediación (Llacza, 2021). Los hongos presentan mayor tolerancia al As III y V (Castillo, 2023); siendo posible llevar a cabo la creación de materiales biológicos a partir de desechos agroindustriales (Rey, 2018).

Investigaciones recientes en este campo han demostrado los beneficios de los hongos *P. ostreatus*, llegando a ser considerado como un alimento proteico y saludable (Nieto et al., 2021); así como, también es una opción para aprovechar los residuos lignocelulósicos agrícolas (Díaz et al., 2019) y ahora se está investigando la forma de contribuir en la biorremediación por que pueden degradar y/o absorber; así como, su bajo costo

y fácil manipulación, en comparación con el uso de bacterias (Sifuentes, 2014); por lo que el *P. ostreatus* puede ser una solución para problemas ambientales generados por los residuos tóxicos por causa de la actividad humana (Urrutia, 2019). Para su eficiente resultado es importante profundizar en la formación de compuestos complejos con ácidos orgánicos, la bioacumulación intracelular y por último la adsorción extracelular (Mancipe & Arias, 2020).

Esta investigación se justifica, desde el punto de vista teórico, dado que la actividad minera arroja al ambiente metales tóxicos como Pb, Hg, Cd, As y Cr, muy dañinos para la salud humana y para las formas de vida (Yu et al., 2021). Estos tienden a bioacumularse, lo que la significa que va en aumento la concentración de un producto químico en un organismo biológico (Londoño et al., 2016). Pero existen avances tecnológicos que permiten aplicar procedimientos de bajo costo en la remediación. (Vallejo, 2021). Desde el punto de vista metodológico es necesario conocer las propiedades absorbentes del *P. ostreatus*. Es una técnica muy útil en aplicaciones industriales donde se requiere tratar grandes cantidades de contaminantes de metales pesados (Mancipe & Arias, 2020). También pueden determinar la eficiencia del tratamiento en función a degradar productos farmacéuticos y otros (Golovko et al., 2022), mejorar la productividad y calidad del suelo, debido a su adaptabilidad, al estrés por factores externos, quelación, capacidad de síntesis enzimática y sus esporas resistentes (Chavez, 2019); sin dejar de mencionar que el *P. Ostreatus* tiene gran eficiencia en remoción de metales pesados (Ruiz, 2016), entre ellos se tiene la capacidad potencial de acumular Fe (Hultberg et al., 2023). Por último, desde el punto de vista práctico es necesario potenciar su capacidad de adsorción y controlar sus propiedades del *P. ostreatus* en la

remediación de sedimentos del Río Moche, con la finalidad de determinar la capacidad de absorción de metales pesados y saber si se convertirá en un producto con valor agregado, para utilizarlo como material de recuperación de sitios contaminados, en cumplimiento de los estándares de calidad para suelo (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM).

De acuerdo con lo expuesto esta investigación tiene como objetivo general, determinar la capacidad de absorción de metales pesados por *Pleurotus*

ostreatus en sedimentos del Río Moche, La Libertad 2024; además, analizar los sedimentos, determinar el porcentaje de absorción de los metales pesados por *P. ostreatus*, y determinar la dosificación óptima del *P. ostreatus* en la absorción de metales pesados en sedimentos. (50 g, 100 g y 150 g).

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño metodológico de la investigación fue experimental.

Diseño Muestral

TABLA 1

Matriz de diseño de muestras

Grupo	Concentración	Tiempo Niveles		
		t_1	t_2	
Control	C_0			
	C_1	C_1/t_1	C_1/t_2	
	Experimental Niveles	C_2	C_2/t_1	C_2/t_2
		C_3	C_3/t_1	C_3/t_2

Nota: C0 = Caracterización del suelo (sedimentos). C1 = Concentración del *Pleurotus ostreatus* 50 gr. C2 = Concentración del *Pleurotus ostreatus* 100 gr. C3 = Concentración del *Pleurotus ostreatus* 150 gr. t1 = Tiempo de remoción 20 días t2 = Tiempo de remoción 40 días

La población estuvo constituida por los sedimentos, que se almacenan en el Río Moche. La muestra fue tomada por conveniencia, puesto que debido a la accesibilidad del río, se tomó en donde hay condiciones de seguridad. La unidad de análisis fue 20 kilos de sedimentos del Río Moche, La Libertad.

La técnica e instrumentos que se desarrolló dentro de la investigación fue la observación, puesto que esta técnica permitirá obtener datos necesarios para el estudio del problema. Guía para muestreo de suelos contaminados de acuerdo con el D.S. N°002 – 2013 -MINAM; así como, fichas de observación en

campo para muestreo de suelos.

Las pruebas estadísticas fueron la prueba de normalidad Shapiro-Wilk porque el número de muestras es menor a 30. Se aplicó ANOVA unifactorial, para determinar si los tratamientos presentan diferencias significativas. Se aplicó la prueba post hoc de Tukey para identificar cuál de los grupos es homogéneo.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestra el análisis de metales pesados presentes en sedimentos del Río Moche,



La Libertad. Se observa que se tienen datos de ocho metales pesados, todos ellos analizados mediante el método de espectrometría de emisión óptica. Estos datos son resultados para la muestra inicial, los cuales fueron tomados por conveniencia, porque presentan valores muy altos de concentración, entre ellos se destacan el As con un valor de 1131,43 mg/kg, Ti con 885,94 mg/kg, Zn con 294,54 mg/kg, Pb con 257,52 mg/kg, Cu, Ni, Sn y Sb con valores de 66,83, 13,38, 0,88 y 3,74 mg/kg, respectivamente.

TABLA 2

Análisis de metales pesados presentes en sedimentos del Rio Moche, 2024

Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Arsénico (As)	0,17	mg/kg	1131,43
Cobre (Cu)	0,07	mg/kg	66,83
Níquel (Ni)	0,06	mg/kg	13,38
Plomo (Pb)	0,08	mg/kg	257,52
Antimonio (Sb)	0,22	mg/kg	3,74
Estaño (Sn)	0,10	mg/kg	0,88
Titanio (Ti)	0,03	mg/kg	885,94
Zinc (Zn)	0,23	mg/kg	294,54

Nota: L.D.M.: Límite de detección del método

Dosificación óptima del *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados

En la Figura 1 se observa el porcentaje de absorción de metales pesados por *Pleurotus ostreatus*. El mejor porcentaje de absorción fue para el (Sb), en el T4, T5 y T6, con 72,28 %, 67,65 % y 72,37 % respectivamente. Seguidamente está el (Ti), en el T1 - T2 y T3, con el 49,70 %, 51,62 % y 54,15 % respectivamente.

El tercer mejor porcentaje fue para el (Sn) en el T4, T5 y T6, con 22,73 %, 27,27 % y 31,06 % respectivamente. El cuarto mejor porcentaje fue para el (Pb) en el T4, T5 y T6, con el 18,99 %, 25,26 % y 25,28% respectivamente y con valores por encima del 15 % está el (Zn), en el T4, T5 y T6, con 15,8 %, 18,6 % y 18,5 % respectivamente.

Así como, también el (Cu), en el T1, T2 y T3,

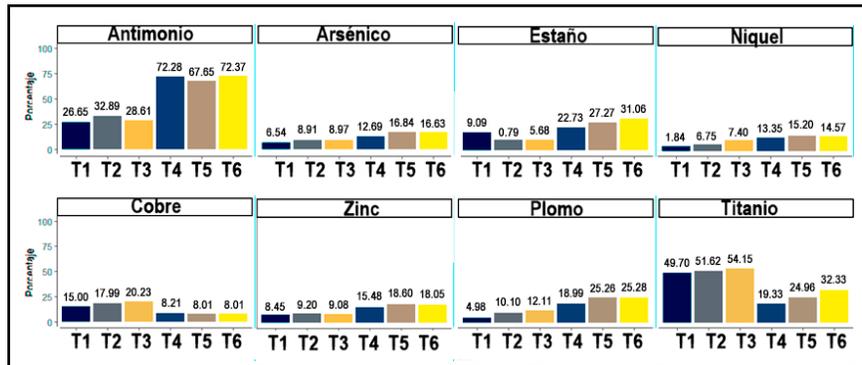
con valores de 15,00 %, 17,99 % y 20,23% respectivamente.

Por último, se tienen dos metales donde los mejores porcentajes de absorción se dieron en el T1, T2 y T3, con 12,69 %, 16,84 y 16,63, para el (As) y 13,35 %, 15,20 % y 14,57 % para el (Ni).



FIGURA 1

Porcentaje de absorción de los metales pesados por el *Pleurotus ostreatus*.



Nota: 20 días T1: Concentración de micelio de *Pleurotus ostreatus* (50 g); T2: Concentración de micelio de *Pleurotus ostreatus* (100 g); T3: Concentración de micelio de *Pleurotus ostreatus* (150 g).
 40 días: T4: Concentración de micelio de *Pleurotus ostreatus* (50 g); T5: Concentración de micelio de *Pleurotus ostreatus* (100 g); T6: Concentración de micelio de *Pleurotus ostreatus* (150 g).

En la Tabla 3, el p-valor de significancia de la prueba de ANOVA unifactorial, resultó ser menor que 0,05 ($p < 0,05$), es decir, se evidenció diferencia significativa, de la concentración de micelio de *P. ostreatus* con 20 y 40 días de tratamiento, en la absorción de los metales pesados como: Cu ($p = 0,019$), Pb ($p = 0,000$), Sb ($p = 0,000$) y Ti ($p = 0,000$),

más no se registró diferencia significativa ($p > 0,05$), en la concentración de micelio de *P. ostreatus* con 20 y 40 días de tratamiento en los metales: As ($p = 0,075$), Ni ($p = 0,079$), Sn ($p = 0,111$) y Zn ($p = 0,059$). Según la prueba de comparaciones múltiple Tukey, el Pb es el único metal que mostró diferencias significativas en los T1, T3, T4 y T6.

TABLA 3

ANOVA unifactorial y prueba de Tukey, según metales pesados evaluados

Metal pesado	Grupos homogéneos**						p-valor
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Arsénico (As)	73,99 ^a	100,83 ^a	101,47 ^a	143,54 ^a	190,53 ^a	188,17 ^a	0,075
Cobre (Cu)	10,02 ^a	12,02 ^a	13,52 ^a	5,49 ^b	5,35 ^b	5,35 ^b	0,019
Níquel (Ni)	0,25 ^a	0,90 ^a	0,99 ^a	1,79 ^a	2,03 ^a	1,95 ^a	0,079
Plomo (Pb)	12,82 ^a	26 ^{ab}	31,19 ^{ab}	48,89 ^{bc}	65,04 ^{cd}	65,09 ^{cd}	0,000
Antimonio (Sb)	1,00 ^a	1,23	1,07 ^a	2,70 ^b	2,53 ^b	2,71 ^b	0,000
Estaño (Sn)	0,08 ^a	0,01 ^a	0,05 ^a	0,20 ^a	0,24 ^a	0,27 ^a	0,111
Titanio (Ti)	440,34 ^a	457,36 ^a	479,72 ^a	171,27 ^b	221,12 ^b	286,41 ^b	0,000
Zinc (Zn)	24,89 ^a	27,10 ^a	26,75 ^a	45,61 ^a	54,78 ^a	53,17 ^a	0,059

Nota. * p-valor ANOVA; **Prueba post hoc de Tukey para la identificación de grupos homogéneos.



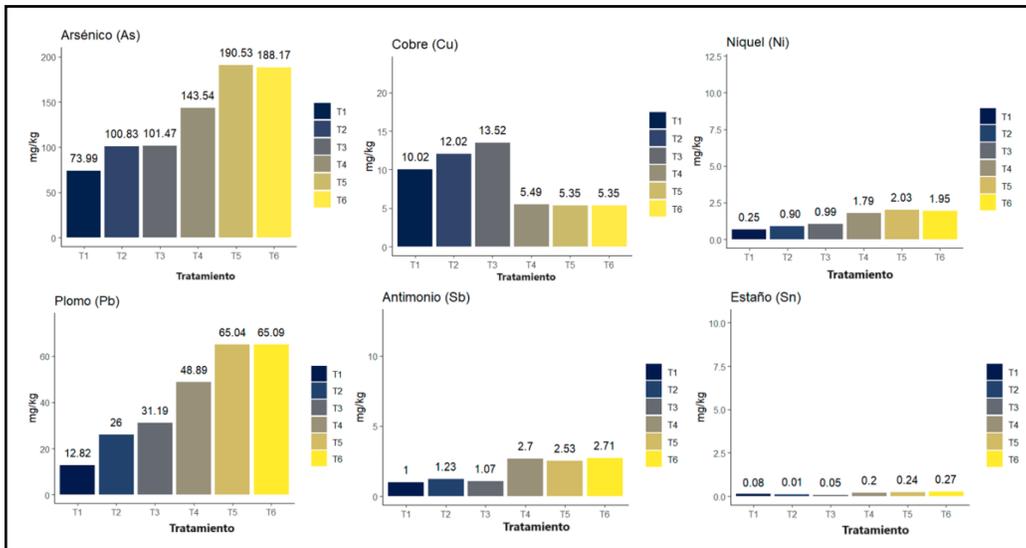
Capacidad de absorción de metales pesados por *Pleurotus ostreatus*

Según la Figura 2, se puede observar que el As tuvo la mejor capacidad de absorción en el T4, con 190,53 mg/kg, el Cu, en el T3 con 13,52 mg/kg; el

Ni en el T5 con 2,03 mg/kg; el Pb en el T6 con una capacidad de 65,09 mg/kg; el Sb, en el T6 con 2,71 mg/kg y el Sn, también en el T6 con una capacidad de absorción de 0.27 mg/kg.

FIGURA 2

*Capacidad de absorción del *Pleurotus ostreatus* en As, Cu, Ni, Pb, Sb y Sn*

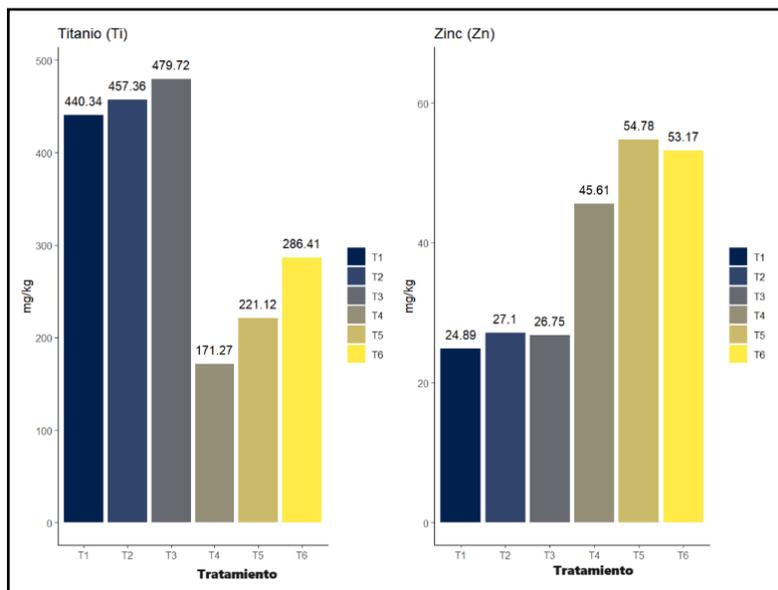


Según la Figura 3, se puede observar que el Ti, tuvo la mejor capacidad de absorción en el T3, con una

capacidad de 479,72 mg/kg; mientras que, el Zn en el T5, con 57,78 mg/kg.

FIGURA 3

*Capacidad de absorción del *P. ostreatus* en Ti y Zn*



DISCUSIÓN

Los resultados detectaron ocho metales pesados que presentan valores muy altos, entre ellos tenemos al (As) con 1131,43 mg/kg, al (Zn) con 294,54 mg/kg, (Ni) con 13,38 mg/kg y (Pb) con 257,52 mg/kg. Al compararlos con la investigación de Pérez y Vásquez, (2018), estos presentan valores más bajos, en (As) con 50,00 mg/kg, en (Zn) con 86,60 mg/kg, en (Ni) con 11,78 mg/kg y (Pb) con 20,14 mg/kg.

Al comparar el resultado obtenido de (As), 1131,43 mg/kg con el Estándar de Calidad Ambiental para suelos (ECA, 2017), en el uso de suelo con clasificación industrial/extractivos, indica que el límite máximo permisible (LMP) es 140,00 mg/kg; por lo que, el resultado inicial de este metal en esta investigación sobrepasa lo establecido por el ECA. Al contrario, en el caso del Pb, estuvo dentro del valor considerado por el ECA como normal, el cual es 800,00 mg/kg.

De los ocho metales pesados analizados, el mejor porcentaje de absorción con *P. ostreatus* fue el Sb con el 72,38 %, en el T6; seguidamente está el (Ti) con 54,15% en el T3; luego esta él (Sn), con un 31,06% en el T6; el (Pb) con 25,28% en el T6; el (Cu) con el 20,23% en el T3; el (Zn) con 18,60% en el T5; el (As) con el 16,84% en el T5 y por último el (Ni) con 15,20% en el T5. Los mejores porcentajes de absorción fueron en los 40 días de evaluación, ya que el Sb, Sn y Pb, presentan mejores porcentajes en el T6; así como, el Zn, As y Ni, en T5; mientras que, el Cu y Ti tuvieron mejores porcentajes en el T3, el cual corresponde a 20 días de evaluación.

En la investigación de Pérez & Vásquez, (2018), el Pb presentó 68,97 % de absorción; mientras que, para Vallejo, et al. (2021) fue 75 %; para Yanyan et al. (2021), alcanzó 76,34 % y en esta investigación se llegó a absorber 25,28 %. Con estos resultados se puede afirmar que la mayoría de los estudios reportan porcentajes por encima de los 70 %, a

excepción de esta investigación; así mismo, se observa que el *P. ostreatus*, es muy efectivo con el Pb y esto es corroborado por Goligar & Khavarinejad, (2023), ya que afirman que tiene la capacidad de alojar este metal.

En cuanto a la dosificación óptima del *P. ostreatus* en la absorción de metales pesados, se realizó la prueba de ANOVA unifactorial y se identificó que existen diferencias significativas en las concentraciones de micelio en 20 y 40 días de evaluación, en cuatro metales pesados, Cu ($p=0,019$), Pb ($p=0,000$), Sb ($p=0,000$) y Ti ($p=0,000$); por lo que se puede afirmar que el micelio del *P. ostreatus* tiene un efecto positivo en la absorción de metales pesados. No se registraron diferencias significativas en los metales As, Ni, Sn y Zn ($p=0,059$).

El mejor tratamiento que presentó diferencia significativa fue para el Pb, según la prueba de Tukey, en el T6. Al igual que el (Sb) y (Sn) en el T6; sin embargo, no hubo diferencia significativa; para As, Ni y Zn, en el T5, sin diferencia significativa. Así como, también con el (Ti), que presentó el mejor resultado en el T3, al igual que el (Cu), en el T2; lo que se puede aseverar que solo dos metales presentaron mejores resultados con una evaluación de 20 días, mientras que los seis restantes a los 40 días, pero diferentes concentraciones de micelio de *P. ostreatus*.

La dosificación óptima fue utilizando 100 g de micelio de *P. ostreatus*, en los 40 días de evaluación, porque abarca la mayor cantidad de metales pesados (As, Ni y Zn), pero estadísticamente se mostró para la concentración de 150 g de micelio de *P. ostreatus* en 40 días de tratamiento. También el *P. ostreatus*, según cada metal tiende a estresarse al absorber, ya que se obtuvieron buenos resultados en 20 días y otros en 40 días de tratamiento.

De los resultados obtenidos en cuanto a la

capacidad de absorción del *P. ostreatus*, se realizó el coeficiente de variación (CV) por cada tratamiento de los ocho metales pesados. Para el (As) el *P. ostreatus* tuvo una capacidad de absorción del 190,53 mg/kg en el T5, con un CV del 22,10 %, presentando un comportamiento variable (CV <25 %), pero se tuvo un mejor resultado en cuanto al CV del 17,60 %, que presento un comportamiento regularmente variable, (CV ≤20 %), en el T6, con una capacidad de absorción del 188,17 mg/kg. La diferencia entre la capacidad de absorción del T6 y T5, es muy corta, ya que solo es de 2,36 mg/kg; por lo tanto, el resultado más favorable en la capacidad de absorción está en el T6.

La mejor capacidad de absorción del *P. ostreatus*. en el Cu, fue en el T3, con un valor del 13,52 mg/kg, con un CV del 30,10 %, presentando un comportamiento muy variable (CV >25 %), pero se tuvo un mejor CV del 7,10 %, con un comportamiento muy homogéneo (CV ≤10 %), en el T4, con un valor del 5,49 mg/kg. Se observa que, la diferencia entre el T4 y T3 es de 8,03 mg/kg; así como, también se observa la gran diferencia entre el CV, por lo que, el mejor resultado en cuando a la capacidad de absorción está en el T4, ya que es muy homogéneo.

Para el (Ni), el *P. ostreatus* tuvo una capacidad de absorción del 2,03 mg/kg en el T5 con un CV del 28,60 %, presentando un comportamiento muy variable, (CV >25 %), pero se tiene un mejor resultado en cuanto al CV del 21 % presentando un comportamiento variable (CV ≤25 %), en el T6, con un valor del 1,95 mg/kg. La diferencia entre el T5 y T6, es de 0,08 mg/kg, un valor mínimo, por lo que el mejor resultado en capacidad de absorción está en el T6.

La mejor capacidad de absorción del *P. ostreatus* para el Pb, fue en el T6, con un valor del 65,09 mg/kg, y un CV del 7 %, presentando un comportamiento muy homogéneo (CV ≤10 %), según el resultado en

capacidad de absorción y CV es el mejor. Para el Sb, el *P. ostreatus*, tuvo una capacidad de absorción del 2.71 mg/kg en el T6 con un CV del 4,10 %, presentando un comportamiento muy homogéneo (CV ≤10 %), pero se tiene un mejor porcentaje del 3,60 % presentando un comportamiento muy homogéneo (CV ≤10 %), en el T5, con un valor de absorción del 2,53 mg/kg. De esto se deduce, que la diferencia entre el T6 y T5 es de 0,18 mg/kg, y que ambos presentan comportamiento muy homogéneo, por lo tanto, el mejor resultado está en el T6.

La mejor capacidad de absorción del *P. ostreatus* en el Sn, fue para el T6, con un valor del 0,27 mg/kg, presentando un CV del 66,70 %, teniendo un comportamiento muy variable (CV >25 %), pero se tiene un mejor resultado en cuanto al CV del 15 %, mostrando un comportamiento regularmente homogéneo (CV ≤15 %), en el T4, con un valor de absorción del 0,20 mg/kg. La diferencia entre el T4 y T6 es del 0,07 mg/kg, un valor muy bajo, por lo que se toma como mejor resultado la capacidad de absorción del T4, ya que es regularmente homogéneo.

La capacidad de absorción del *P. ostreatus*, en el (Ti), fue de 479,72 mg/kg en T3, con un CV del 8,40 %, presentando un comportamiento muy homogéneo (CV ≤10 %), pero se tiene un mejor resultado en el CV del 4,50 %, (CV ≤10 %), mostrando un comportamiento muy homogéneo en el T1 de 440,34 mg/kg. La diferencia entre el T1 y T3 es de 39,38 mg/kg, pero ambos están con comportamiento muy variable, el mejor resultado en cuanto a la capacidad de absorción está dentro del T3.

Para el (Zn), la capacidad de absorción del *P. ostreatus* está en el T5, con un valor del 54,78 mg/kg, con un CV del 32,50 %, con un comportamiento muy variable (CV >25 %), pero existe un mejor resultado en cuanto al CV, que es del 19,70 %, presentando

un comportamiento regularmente variable, ($CV \leq 20\%$), en el T6, de 53,17 mg/kg. La diferencia entre el T6 y T5 es de 1,61 mg/kg, un valor pequeño, por lo que se opta como mejor resultado al T6.

El *P. ostreatus* es una excelente alternativa para absorber metales pesados, y esto es corroborado por Yu, et al. (2021), ya que, afirma que los hongos sobreviven en ambientes de alta concentración de metales pesados, al igual que Valenzuela, (2022), que sustenta que el hongo posee la capacidad para acumular Cd; por lo tanto, es una buena opción para la remediación ambiental.

En la investigación de Kubieri et al. (2019) manifiesta que las concentraciones elevadas son cancerígenas para los seres humanos, y estas están presentes en el suelo y aguas subterráneas. Es por ello que Vásquez, (2019) afirma que el *P. ostreatus* tiene la característica de poseer un micelio de una tonalidad blanquecina, este logra expandirse por el suelo contaminado a través de sus hifas penetrando el suelo contaminando; de igual forma, Cayetano, (2019), en su estudio reportó la relación entre la ingesta prolongada de agua que contiene As y enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión, enfermedades gastrointestinales y lesiones cutáneas. Según esta problemática se pueden utilizar los hongos *P. ostreatus* para degradar el arsénico y esto es corroborado por Castillo, (2023), que afirma que los hongos basidiomicetos presentan mayor tolerancia al As III y V, considerados los más tóxicos para el ser humano. Por lo tanto, el uso de *P. ostreatus* en diferentes tratamientos para la absorción de metales pesados es una alternativa y es corroborado por Vallejo et al. (2021), donde afirma que es un verdadero material biorremediador y de igual forma lo afirman Goligar & Khavarinejad, (2023), pero con *P. eryngii*, el cual también es una buena opción, para retener los contaminantes del ambiente.

CONCLUSIONES

Se concluye que *P. ostreatus* tiene eficiente capacidad de absorción de metales pesados, sedimentos del Rio Moche, La Libertad.

Se identificaron ocho metales pesados mediante el método de espectrometría de emisión óptica: As, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti y Zn.

El Sb fue el metal con mejor absorción en el tratamiento T6.

El Pb, es el metal que presentó la mejor capacidad de absorción a 150 g de micelio, a los 40 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, M., Ali, S., El-Dek, S., & Galal, A. (2013). Magnetite hematite nanoparticles prepared by green methods for heavy metal ions removal from water, *Materials science and Engineering B*. 178 (10), 744-751. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921510713001074>
- Attigbe, F., & Nkansah, A. (2017). The impact of mining on the water resources in Ghana: Newmont case study at Birim north district (new abirem). *Energy Environment Research*. 7 (2), 27-36. <https://doi.org/10.5539/eer.v7n2p27>
- Attigbe, F., Mohammed, A., & Kingslove, Q. (2020). Assessing the potential health impact of selected heavy metals that pollute lake amponsah in Bibiani, Western North region, Ghana. *Scientific African*, 9. e00531. [https://DOI: e00531.10.1016/j.sciaf.2020.e00531](https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00531).
- Armenteros, J., & Baldo, J. (2022). Arsenic: The first systemic treatment for psoriasis. *Piel*, 37(4), 195-198. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0213925121003476>
- Bellettini, M., Fiorda F., Maieves, H., Teixeira, G., Ávila, S., Hornung, S., & Ribani, R. (2019). Factors



- affecting mushroom *Pleurotus spp.* *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
- Budnik, L. & Casteleyn, L. (2019). Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. *Science of The Total Environment*, 654, 720-734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.408>
- Castillo, J. (2023). *Generación de bioscorodita en cultivos de hongos As/Fe: bioensayos de toxicidad*. [Tesis de Doctorado, Instituto Politecnico Nacional]. <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/4347>
- Cano, J. (2021). Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú. *Revista Manglar*, 18(4), 419 - 426. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/281>
- Cayetano, P. (2019). *Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: plomo, cadmio, mercurio y arsénico*. Instituto Nacional de Salud.
- Covarrubias, A., & Peña J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33 (1), 7-21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Cupe, B. & Morales, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Revista Ecología Aplicada*, 17(1). <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v17n1/a12v17n1.pdf>
- Cusiche, L., Espinoza, C., & Espinoza, G. (2021). Determinación de metales pesados en agua para consumo humano de la ciudad de Junín. *Prospectiva Universitaria*, 18(1). 53-58. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1416>
- Chávez, R. (2019). *Uso De Hongos Para La Remediación De Suelos Contaminados Por Residuos Sólidos Domésticos En El Perú*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1382>
- Chang, Y., Lai, J., & Lee, D. (2016). Thermodynamic parameters for adsorption equilibrium of heavy metals and dyes from wastewaters: Research updated. *Bioresource Technology*, 222. 513-516. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241631392X>.
- Chen, X., Zheng, L., Sun, R., Liu, S., Li, C., Chen, Y., & Xu, Y. (2022). Mercury in sediment reflecting the intensive coal mining activities: Evidence from stable mercury isotopes and Bayesian mixing model analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651322002329>
- Demirbas, A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazard Materials*, 157(2-3). 220-229. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389408000629>
- Díaz, J. (2020). *Factores que determinan el origen de la contaminación de suelos por arsénico en la comunidad de Llacuabamba, Pataz, mediante procedimientos secuenciales y alternos*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/TE0334.pdf>
- Díaz, K., Casanova, M., León, A., Gil, L., Bardales, C., & Cabos J. (2019). Producción



- de *Pleurotus Ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3). 1177,1184. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>
- FAO & GTIS (2015). *Recurso Suelo. In Estado Mundial del Recurso Suelo*. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/I5126S>
- FAO & PNUMA. (2022). *Evaluación mundial de la contaminación del suelo – Resumen para los formuladores de políticas*. <https://doi.org/10.4060/cb4827es>
- Goligar, N., Saadatmand, S. & Khavarinejad, R. (2023). Mycoremediation of lead and cadmium by lignocellulosic enzymes of *Pleurotus eryngii*. *AMB Express*, 13, 127. <https://doi.org/10.1186/s13568-023-01626-8>
- Golovko, O., Kaczmarek, M., Asp, H., Bergstrand, K. & Ahrens, L. (2022). Uptake of perfluoroalkyl substances, pharmaceuticals, and parabens by oyster mushrooms *Pleurotus Ostreatus* and exposure risk in human consumption. *Chemosphere*, 291(2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521033701>
- Farfán, G. (2018). *Identificación de Suelos Contaminados por Minería en Caylloma, Arequipa Referente a Estudios Geoquímicos y Estándares de Calidad Ambiental*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3210>
- Hernández, R. & Mendoza, C. (2018). *Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. (1ª ed). McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Hultberg, M., Asp, H., Bergstrand, K. & Golovko, O. (2023). Production of oyster mushroom (*Pleurotus Ostreatus*) on sawdust supplemented with anaerobic digestate. *Waste Management*, 155(1). 1-7 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X22005116>
- Kubier, A., Wilkin, R., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater. A review. *Applied Geochemistry*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>.
- Llacza, H. (2021). Evaluación de la biosorción de Pb en hongos filamentosos del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, Yauli – Junín. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/17418>
- Londoño, L., Londoño P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 145-153. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1766/1360>
- Mancipe, N. & Arias, S. (2020). Remoción de mercurio y plomo contenido en efluentes de agua por el *Pleurotus Ostreatus* inmovilizado en diferentes materiales. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/48760>
- Martínez, P. (2021). La contaminación del agua en la minería. Observatorio Económico Latinoamérica. <https://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineria>
- MINAM (2014). Guía para muestreo de suelo. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf



- MINAM (2017). *Estandares de la calidad Ambiental ECA para suelo*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>
- Mohammad, A., Salah, T., Hassan, M., & El-Anadouli, B. (2017). Efficient treatment of lead-containing wastewater by hydroxyapatite/chitosan nanostructures. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(5). 683-690. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535214003669>
- Mohan, D., Singh, K., & Singh, V. (2006). Trivalent chromium removal from wastewater using low cost activated carbon derived from agricultural waste material and activated carbon fabric cloth. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3). 280-295. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389405007788>
- Navarro, W. (2019). *Determinación de la concentración de arsénico (As) total en las aguas subterráneas de pozos tubulares en el distrito de Juliaca y medidas de mitigación*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e4277544-232f-461d-9c1f-75dbdf1f322d/content>
- Niane, B., Guédron, S., Feder, F., Legros, S., Ngom, P., & Moritz, R. (2019). Impact of recent artisanal small-scale gold mining in Senegal: Mercury and methylmercury contamination of terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 669, 185-193. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719310903>
- Nieto, J., Cuzcano, Á., & Reyes W. (2021). Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y de su composición nutricional en borra de café. *Tecnia*, 31(2), 27-32. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v21i2.1026>
- Obispo, P. & Ramos, C. (2019). *Biorremediación Mediante el Uso de Auricularia sp. En Suelo Agrícola Contaminado por Petróleo Analizando la Fracción 2 y 3 de Hidrocarburo Desarrollado en la niversidad Nacional del Callao*. [Tesis de Licenciatura, Universidad del Callao]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_Of1094c836f86fe8eabe1fd465974744
- Ofosu, G., Dittmann, R., Sarpong, D. & Botchie, D. (2020) Socio economic and environmental implications of artisanal and small-scale mining (SSM) on agriculture and livelihoods. *Environmental Science and Policy*, 106. 210-220. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146290111930351X?via%3Dihub>
- Pabón, S., Benitez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2021). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Una revisión entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27). 9-18. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009
- Pérez, A., & Vásquez N. (2018). *Influencia de la concentración de semilla inoculada con Pleurotus Ostreatus en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Algamarca Cajamarca*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36075>
- Raman, J., Jang, K., Oh, Y., Oh, M., Im, J., Lakshmanan, H., & Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>
- Ramos, C., Bravo, A., Uribe, R., Negrete, J., & Díez, S. (2021) Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. *Environment*



- International*, 146. 106216. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020321711?via%3Dihub>
- Ruiz, A. (2016). *Eficiencia de remoción de cuatro fungi de pudrición blanca en medios acuosos inducidos con cobre y zinc*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/2de65697-4876-4624-beea-e0876f34a423>
- Rey, F. (2018). *Elaboración De Un Material Biológico a Partir del Hongo *Pleurotus Ostreatus* Para Su Utilización en Aplicaciones de Ingeniería*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8798/>
- Sassine Y., Shuleva N., & El Sebaaly Z. (2022). Changes in *Pleurotus ostreatus* nutritional value and heavy metal profile as a result of supplementation with nano-additive. *Studies in Fungi*, 7(12). <https://www.maxapress.com/article/doi/10.48130/SIF-2022-0012>
- Siddiqui, E., & Pandey, J. (2019). Assessment of heavy metal pollution in water and surface sediment and evaluation of ecological risks associated with sediment contamination in the Ganga River: a basin-scale study. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(11). 10926 – 10940. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04495-6>
- Sifuentes, E. (2014). *Producción de inóculo de *Pleurotus ostreatus* para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1874>
- Simbaña, J. (2016) *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la Parroquia Taracoa en Francisco de Orellana, mediante el Hongo *Pleurotus ostreatus**. [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1061635>
- Torres, R. (2020). *Una enzima de las setas ostra es capaz de limpiar el agua potable y residual. Miscelánea. Mexico*. <https://www.cua.uam.mx/news/miscelanea/una-enzima-de-las-setas-ostra-es-capaz-de-limpiar-el-agua-potable-y-residual>
- Trivedi, P., & Axe, L. (2000). Modeling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides. *Environmental Science & Technology*, 34(11). 2215-2223. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es991110c>
- US EPA, (2019). *National Primary Drinking Water Regulations*. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#one>.
- Urrutia, B. (2019). *Tolerancia de *Pleurotus Ostreatus* a diferentes concentraciones de plomo*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://hdl.handle.net/11673/47870>
- Valenzuela, C. (2022). *Eficiencia de los hongos *Pleurotus Ostreatus* y *aspergillus niger* en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. [Tesis de Maestría, Universidad Estatal de Milagro]. <https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/6074>
- Vallejo, L. (2021). *Utilización de *Lacasa de Pleurotus Ostreatus* y su biomasa residual para la degradación de colorantes azoicos y la remoción de metales en aguas residuales*. [Tesis de Doctorado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México]. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/12695>
- Vallejo, M., Marín, M., Ramos, M., Silva, S., Cantu.



- D., & Tamariz, J. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 275-289. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2687>
- Vásquez, A. (2019). *Capacidad microrremediadora del hongo Pleurotus Ostreatus en suelos contaminados con cadmio*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6595879?show=full>
- Vogel F., & Salmones, D. (2000). Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus* spp. cultivadas en una planta comercial. *Revista Iberoamericana de Micología* 17. 138–141. <http://www.reviberoammicol.com/2000-17/138141.pdf>
- Wu, C., Mouri, H., Chen, S., Zhang, D., Koga, M., & Kobayashi, J. (2016). Removal of trace-amount mercury from wastewater by forward osmosis. *Journal of Water Process Engineering*, 14. 108-116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714416301039>
- Yanyan, J., Zongyu, L., Yameng, L., Gao, L., Liangliang, L., Xin, Y., Zhilong, Z., & Wen, Y. (2021). The ability of edible fungi residue to remove lead in wastewater. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.723087>
- Yu, H., Shen, X., Chen, H., Dong, H., Zhang, L., Yuan, T., Zhang, D., Shang, X., Tan, Q., Liu, J., Lv, B., & Li, Y. (2021). Analysis of heavy metal content in *Lentinula edodes* and the main influencing factors. *Food Control*, 130. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713521003364>
- Zaboloy, C. (2021) Una sola salud: la salud del suelo y su vínculo con la salud humana. *Revista Argentina de Microbiología*. 53(4). 275-276. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754121001000>
- Zhu, L., Tong, L., Zhao, N., Wang, X., Yang, X., & Lv, Y. (2020). Key factors and microscopic mechanisms controlling adsorption of cadmium by surface oxidized and aminated biochars. *Journal of Hazardous Materials*, 380(15), 121002. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121002>

