

Innovations in Environmental Remediation: Use of *Suillus Luteus* in the Removal of Heavy Metals from Acid Mine Drainage

Oblitas-Jauregui, Cristofer¹, Aguilar-Reyna, Milcer², Licapa-Redolfo, Gladys³, Cáceres, Shonel⁴

¹Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. N00029335@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, La Libertad, Perú. N00191293@upn.pe

^{3,4}Facultat de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. gladys.licapa@upn.edu.pe; shonel.caceres@upn.edu.pe

Abstract – *In the current investigation, the objective was to determine the level of efficiency of the fungus "suillus luteus" in the removal of As, Cd, B and Li in acid mine drainage from a mining environmental liability located in Hualgayoc. The means applied in the remediation have the Regional Water Laboratory and the UPN, turning the "suillus luteus" fungus into an economical and effective alternative. To begin the mine drainage, it is typified through a total metal analysis of the sample point (PM) prior to treatment, reaching initial concentrations for the PM of 0.168 mg/L of As; 0.230 mg/L of Cd; 0.503 mg/L of B and 0.119 mg/L of Li, obtaining a pH of 2.42. Applying the experimental design for the treatment of mine drainage, doses of 10, 20 and 30g of biomass of the fungus and contact times of 1, 2 and 3h were added, attributing the nine treatments to the mine drainage sample according to the test, achieving optimal remediation results through a dosage of 30g of fungus and 3h of contact time. After the treatment with biomass of the fungus, it was possible to remove As in 30.36% with 20g and 1 h, Cd in 61.21% with 30g and 3h, B in 87.07% with 20g and 3h and Li in 90.76% with 10g and 1h and increase the pH until reaching a value of 5.36, deriving it as a complementary and optional treatment to deal with environmental conflicts due to acid effluents.*

Keywords– *"Suillus luteus" fungus, Contact time, Dosage, Acid mine drainage.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Innovaciones En Remediación Ambiental: Empleo de *Suillus Luteus* en la Remoción de Metales Pesados de Drenaje Ácido de Mina

Oblitas-Jauregui, Cristófer¹, Aguilar-Reyna, Milcer², Licapa-Redolfo, Gladys³, Cáceres, Shonel⁴

¹Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. N00029335@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, La Libertad, Perú. N00191293@upn.pe

^{3,4}Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. gladys.licapa@upn.edu.pe; shonel.caceres@upn.edu.pe

Resumen– En la actual investigación se planteó como objetivo determinar el nivel de eficiencia del hongo “*suillus luteus*” en la remoción de As, Cd, B y Li en drenaje ácido de mina proveniente de un pasivo ambiental minero ubicado en Hualgayoc. Los medios aplicados en la remediación contaron con el Laboratorio Regional del Agua y con la UPN, convirtiendo al hongo “*suillus luteus*” una alternativa económica y eficaz. Para empezar el drenaje ácido de mina se tipifica a través de un análisis de metales totales del punto de muestreo (PM) previo al tratamiento, alcanzando concentraciones iniciales para el PM de 0.168 mg/L de As; 0.230 mg/L de Cd; 0.503 mg/L de B y 0.119 mg/L de Li, asimismo un pH de 2.42. Aplicando el diseño experimental para el tratamiento del drenaje ácido de mina se agregaron las dosis de 10, 20 y 30g de biomasa del hongo y tiempos de contacto de 1, 2 y 3h, atribuyendo los nueve tratamientos a la muestra de drenaje ácido de mina según el muestreo, logrando resultados óptimos de remediación mediante una dosificación de 30g de hongo y 3h de tiempo de contacto. Posterior al tratamiento con biomasa del hongo se consiguió remover el As en un 30.36% con 20g y 1 h, Cd en un 61.21% con 30g y 3h, B en 87.07% con 20g y 3h y Li en 90.76% con 10g y 1h e incrementar el pH hasta lograr un valor de 5.36, derivando como tratamiento complementario y opcional para afrontar conflictos ambientales por efluentes ácidos.

Palabras clave– Hongo “*suillus luteus*”, Tiempo de contacto, Dosificación, Drenaje ácido de mina.

I. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica que trae grandes beneficios como la materia prima, así como degradación del entorno ambiental y poner en riesgo la seguridad y salud de población cercanas a la operación de extracción; por consiguiente, esta investigación se focalizó en la biorremediación de contaminantes presentes en aguas residuales provenientes de actividades mineras adyacentes a comunidades vulnerables, priorizando el bienestar de los habitantes cercanos y del medio ambiente del sitio minero y, a través de ello determinar las medidas posibles para mitigar los efectos negativos; además, cabe mencionar que la contaminación por metales tiene una serie de características que la hacen peligrosa:

Tóxica a concentraciones específicas de sedimentos o soluciones, lo que significa la muerte por envenenamiento de las especies que habitan el ambiente [1]. En una reunión en la Agencia Andina de noticias en el 2010, en Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente, la viceministra ha indicado que el 70% de aguas residuales se vierten a los ecosistemas acuáticos sin un previo tratamiento en el Perú, donde dichas declaraciones del caso siguen vigentes hasta la actualidad [2].

En Malasia, se ha demostrado que los seres humanos acumulan metales pesados al consumir organismos corrompidos con estos. En cambio, otras sustancias como los contaminantes orgánicos que pueden volverse menos dañinos, con el tiempo los metales pesados no se destruyen y permanecen en el medio ambiente. En vista de estos inconvenientes se utilizan opciones que son rentables y amigables con el ecosistema. La biorremediación es una tecnología viable y económica. En base a este enfoque se utilizó hongos como formato de remediación. Muchos investigadores emplearon una mezcla de benceno, tolueno, etilbenceno, lodo activado y gasóleo [3].

El pasivo ambiental es la cantidad de los daños no compensados producidos por la minería al medio ambiente a lo largo de la historia. Los efluentes industriales de los pasivos ambientales presentan una gran cantidad de metales pesados tales como (Al, Zn, Mn, Cd, Ni, Cu, Hg,) que se hallan diluidos; estos se originan por la oxidación de manera natural y se precipitan cuando se incrementa la exposición de la roca al agua y al oxígeno [4] y [5]. La minería desocupada posee una variedad de impactos ecológicos y socioeconómicos. Los principales impactos de las minas abandonadas incluyen cambios en el paisaje, contaminación del agua, vegetación y pérdida de fauna y flora.

El drenaje Ácido de Mina produce escorrentía de agua ácida contaminada de las operaciones mineras, tanto en la superficie como en la profundidad, que suele tener un alto contenido de acidez, sulfato y metales pesados, por lo general aluminio, manganeso y hierro. Como consecuencia de gran

cantidad de hierro oxidado, los efluentes ácidos de las minas suelen tener un color rojizo [8].

En Hualgayoc, Cajamarca es una de las zonas más golpeadas por las labores mineras, entre ellas son la exploración, extracción y transformación de minerales, como cadmio, cobre, oro, zinc y plomo; Como resultado, crean pasivos ambientales, es decir, desechos mineros o desechos que actualmente están inactivos o abandonados, creando peligros potenciales para las personas y también dando lugar a la sobreexplotación, lo que lleva a un cambio brusco ambiental del ecosistema. De los mil veintidós pasivos ambientales ubicados en Cajamarca, 94 o 95% de pasivos están ubicados en Hualgayoc. En Hualgayoc, el agua que fluye del río y atraviesa la provincia, ni siquiera es consumible obligando a pobladores a prestar los servicios obteniendo agua de otras fuentes, dicha situación se vuelve más riesgosa conforme se ocasione la intoxicación de animales, personas, la muerte de miles de plantas y peces. Ante esta situación, la biorremediación se plantea como un proceso biotecnológico en el que se utiliza (bacterias, hongos, levaduras, algas) para eliminar y recuperar sustancias contaminadas del medio ambiente del mercado, ya que estos procesos son más rápidos, económicos y eficaces, aunque cabe mencionar que estos procesos en la actualidad son muy raramente reportados en estudios de laboratorio [6].

El hongo “*suillus luteus*” crece comúnmente en pinares de ambiente húmedo llegando a medir hasta 10 cm, de color pardo oscuro y de superficie muy viscosa. Es ideal para cremas y sopas, con carnes rojas, tortillas, pasteles, arroz y papas guisadas, no obstante, tener en cuenta que tiene efecto laxante así que cocinar bien [7].

La biorremediación con hongos es un método poco conocido, pero cada vez tiene más aplicación debido a su eficacia para combatir el grave problema de la degradación por metales pesados en aguas y suelos. Metales pesados como el arsénico, el plomo, el mercurio, el cadmio, etc. Es más frecuente hallarlos en los ecosistemas y de la misma forma en la cadena alimentaria [9]. Hay muchas formas de desinfectar. Y algunas de las empresas del futuro conquistarán este nicho de mercado cada vez más importante para nuestra supervivencia como especie. Hoy deliberamos sobre cómo podemos ayudar al medio ambiente y generar beneficios empresariales a través de la biorremediación empleando hongos.

Se aplicó los estándares de calidad ambiental (ECA) para mediciones de la concentración de elementos o parámetros en el agua en su estado anfitrión que no figuran un riesgo significativo para el medio ambiente y la salubridad humana [10] y [11]. Por otra parte, se planteó la hipótesis de que el empleo de hongos “*suillus luteus*” influye en la remoción de

metales pesados de un DAM originado por un pasivo ambiental minero.

II. METODOLOGÍA



A. Ubicación y recogida de muestras

La recogida de muestras para el estudio se realizó en un pasivo ambiental minero localizado en el distrito de Hualgayoc adyacente a la mina Cerro Corona. El tiempo de viaje hacia el distrito de Hualgayoc desde Cajamarca es de aproximadamente 2 horas en automóvil particular y 30 minutos de caminata hacia el punto de muestreo pasando por el sendero denominado localmente “Pino Colocado” como indica la Fig. 1 y la Tabla 1.

Fig. 1 Ubicación geográfica del pasivo ambiental minero Hualgayoc.

TABLA I
COORDENADAS DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO

Punto	Coordenadas UTM		
	Norte	Este	Altura
PM	9252180.00	763911.00	3648.14

B. Caracterización de la muestra

En las muestras se tuvo en cuenta parámetros del pH y análisis de metales totales. En la siguiente tabla se muestran los metales, asimismo también las concentraciones iniciales donde algunos metales sobrepasan los ECA (Estándares de Calidad Ambiental). Finalmente, para analizar las muestras, y obtener resultados se requirió el uso del Laboratorio Regional del Agua de la región Cajamarca, estos análisis se realizaron a través de la absorción atómica.

TABLA II
CONCENTRACIÓN INICIAL DE METALES TOTALES EN EL PUNTO DE MUESTREO (PM)

Metal	LCM	Concentración (mg/L)	ECA
Cadmio (Cd)	0.0020	0.230	0.01-0.05
Boro (B)	0.0260	0.503	1-5
Arsénico (As)	0.0050	0.168	0.1-0.2
Litio (Li)	0.0050	0.119	2.5



Fig. 2 Muestras del pasivo ambiental minero Hualgayoc.

C. Dosificación del hongo “*Suillus Luteus*”

Durante el proceso de absorción se utilizaron 180g de hongo de los 300g totales que fue adquirida directamente de la Granja Porcón, en Cajamarca, se puede conseguir en la Cooperativa Agraria Atahualpa con dirección en Chanchamayo 1355. Asimismo, este tipo de diseño experimental es absolutamente aleatorizado, con un modelo factorial 1 x 3, con un punto de muestreo (PM) y tres respectivos tratamientos de 10g, 20g y 30g de hongos “*Suillus Luteus*”, para el tratamiento el diseño experimental se muestra en la Tabla 3.

TABLA III
DISEÑO EXPERIMENTAL DE TRATAMIENTO DEL PUNTO DE MUESTREO (PM)

Ensayo	Disolución	Descripción
C2	PM + 10g Hongo	500 mL de DAM + 10 g de hongo
C3	PM + 20g Hongo	500 mL de DAM + 20 g de hongo
C4	PM + 30g Hongo	500 mL de DAM + 30 g de hongo
C5	PM + 10g Hongo	500 mL de DAM + 10 g de hongo
C6	PM + 20g Hongo	500 mL de DAM + 20 g de hongo
C7	PM + 30g Hongo	500 mL de DAM + 30 g de hongo
C8	PM + 10g Hongo	500 mL de DAM + 10 g de hongo
C9	PM + 20g Hongo	500 mL de DAM + 20 g de hongo
C10	PM + 30g Hongo	500 mL de DAM + 30 g de hongo



Fig. 3 Hongo “*suillus luteus*” en forma natural y secos.

D. Desarrollo del tratamiento a escala de laboratorio

Se tamizó la biomasa con una malla de tamaño N°12 y con ayuda de una balanza analítica se pesó en envases de

plástico tres proporciones diferentes de 10g, 20g y 30g, seguidamente, en un matraz de 500 mL se añadió el DAM y se configuró a 400 rpm el agitador magnético en tres tiempos (1h, 2h y 3h) con cada dosificación de biomasa a temperatura ambiente, controlando con un multiparámetro el pH y conductividad. Para culminar, las muestras son llevadas al Laboratorio Regional del Agua a fin de cuantificar las últimas concentraciones de los metales.

E. Determinación de remoción de metales

Se corroboró si aplicar hongos “*suillus luteus*” tiene la capacidad de eliminar metales pesados y regular el pH en DAM variando la dosificación de hongos y el tiempo de contacto, en tres periodos de contacto y tres dosificaciones distintas; y para ello se elaboró una evaluación basada en los parámetros de calidad de agua y a su vez se determinó si las concentraciones en el DAM cumplen con los ECA establecidos.

Para lo anterior, se recurre a la siguiente fórmula para calcular la eficiencia de remoción de metales pesados por sustracción de concentraciones [12]:

$$PR = \frac{DAM_{Inicial} - DAM_{Final}}{DAM_{Inicial}} * 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

PR = Porcentaje de remoción (%)

DAM Inicial = Concentración inicial de DAM (mg/L)

DAM Final = Concentración final de DAM (mg/L)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Comportamiento del pH

En el análisis del pH se valuó en base al tiempo de contacto y la dosificación de biomasa, dejando ver el impacto regulatorio del hongo “*suillus luteus*” en el DAM a mayor proporción de biomasa y a más tiempo de contacto como se aprecia en la Fig. 4, sin embargo, no logra de manera efectiva un trabajo que ponga al efluente tratado dentro de los LMP. Debido a los componentes macronutrientes del hongo “*suillus luteus*” como grasas, carbohidratos, humedad, ceniza y fibra cruda, es que se produce una neutralización moderada.

Para sintetizar, Bardales y Vilcazan [13] recomiendan que para tratamientos pasivos que alcancen una eficiencia de remoción entre 40 y 90% la inclusión de bacterias sulfatos reductoras, con materiales remediadores (turba, paja y bosta de vaca) o el empleo de filtros y/o membranas con el objetivo de mejorar la calidad de aguas ácidas e incrementar el pH.

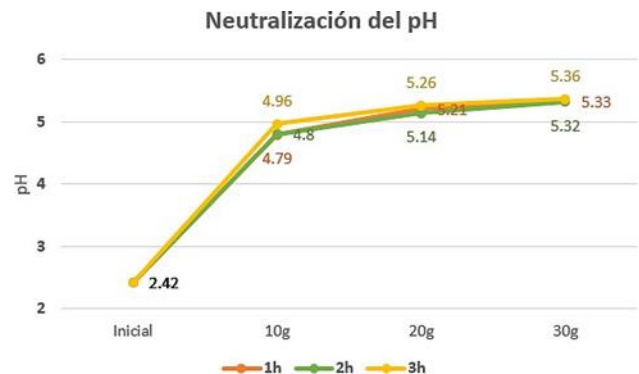


Fig. 4 Comportamiento del pH en cada tiempo de contacto y dosificación de biomasa.

B. Eficiencia de Remoción

Los ensayos solicitados fueron de carácter fisicoquímico y las muestras cumplieron con los requisitos de volumen (500 mL), preservación y conservación (ácido nítrico HNO₃). Los resultados alcanzados corresponden a métodos de ensayo: Método EPA 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determinación de metales y oligoelementos en aguas y residuos mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente. Resultando un método común y barato en la concentración de metales en soluciones, así como se muestran en las Tablas 4, 6 y 8.

TABLA IV
NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE LOS METALES POSTERIOR AL TRATAMIENTO DE 1H

Metal	Unidad	Concentración (mg/L)		
		C1 10g Hongo	C2 20g Hongo	C3 30g Hongo
Cd	mg/L	0.1754	0.1117	0.1001
B	mg/L	0.176	0.139	0.188
As	mg/L	0.158	0.117	0.151
Li	mg/L	0.011	0.012	0.013

TABLA V
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CADA METAL CON TRATAMIENTO DE 1H

Metal	Unidad	Eficiencia (%)		
		C1 10g Hongo	C2 20g Hongo	C3 30g Hongo
Cd	mg/L	23.74	51.43	56.48
B	mg/L	65.00	72.37	62.62
As	mg/L	5.96	30.36	10.12
Li	mg/L	90.76	89.91	89.08

TABLA VI
NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE LOS METALES POSTERIOR AL TRATAMIENTO DE 2H

Metal	Unidad	Concentración (mg/L)		
		C5 10g Hongo	C6 20g Hongo	C7 30g Hongo
Cd	mg/L	23.74	51.43	56.48
B	mg/L	65.00	72.37	62.62
As	mg/L	5.96	30.36	10.12
Li	mg/L	90.76	89.91	89.08

TABLA VII
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CADA METAL CON TRATAMIENTO DE 2H

Metal	Unidad	Eficiencia (%)		
		C5 10g Hongo	C6 20g Hongo	C7 30g Hongo
Cd	mg/L	30.61	45.74	52.70
B	mg/L	75.94	67.99	74.55
As	mg/L	13.10	13.10	23.80

Li	mg/L	90.75	88.23	87.39
----	------	-------	-------	-------

TABLA VIII
NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE LOS METALES POSTERIOR AL TRATAMIENTO DE 3H

Metal	Unidad	Concentración (mg/L)		
		C8 10g Hongo	C9 20g Hongo	C10 30g Hongo
Cd	mg/L	0.1060	0.1127	0.0892
B	mg/L	0.073	0.065	0.080
As	mg/L	0.133	0.150	0.164
Li	mg/L	0.012	0.014	0.025

TABLA IX
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CADA METAL CON TRATAMIENTO DE 3H

Metal	Unidad	Eficiencia (%)		
		C8 10g Hongo	C9 20g Hongo	C10 30g Hongo
Cd	mg/L	53.91	51.00	61.21
B	mg/L	85.49	87.07	84.09
As	mg/L	20.83	10.71	2.38
Li	mg/L	59.91	88.23	78.99

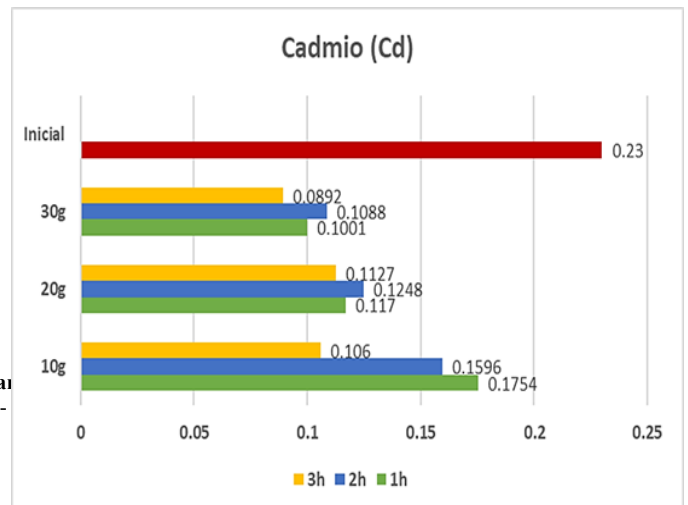
Como se observa en la Fig. 4. se ha logrado duplicar el pH bajo la influencia de la dosificación de biomasa y tiempo de contacto, a comparación de lo evaluado por Çabuk [14] el cual varió el pH entre 1 a 2 previo a la alteración de temperatura y el ratio de agitación, alcanzando así un pH entre 4 y 7 empleando biomasa de hongo *Paecilomyces* sp., esto se debe al parámetro de la temperatura con la que trabajó (entre 20 y 40°C) a diferencia de la presente investigación que no se alteró este parámetro y se ejecutó a temperatura ambiente (21.5°C) y con una conductividad de 1973 us/cm.

Por otro lado, se tomaron las muestras de DAM de un único punto sin repercutir en la neutralización de forma ineficiente y esto se apoya con las remociones más notorias sobre el 90% para el tiempo de contacto de 1, 2 y 3h en el caso del Li, una eficiencia máxima remoción de un 88% para el tratamiento C9 con una dosificación de biomasa de 20g y 3h, dejando por debajo al Cd y As con una eficiencia de remoción de 62% y 31% respectivamente como se muestran en las tablas 5, 7 y 9.

1) Comportamiento del Cd

Fig. 5 Nivel de remoción de Cadmio en cada tratamiento.

Se muestra en la figura 5 la mejor remoción de Cd a mayor dosificación de biomasa de hongos y mayor tiempo de contacto y en la figura 6 la mejor remoción de B a mayor tiempo de contacto que por la dosificación de Biomasa.



2) Comportamiento del B

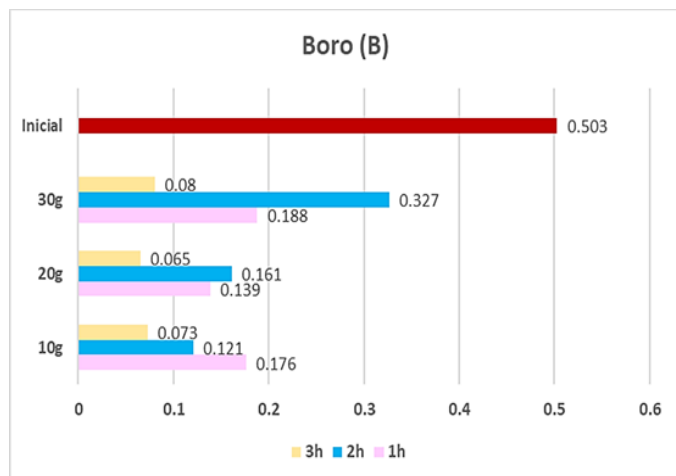


Fig. 6 Nivel de remoción de Boro en cada tratamiento.

También se muestra en la fig. 7 la escasa remoción en el As, debido a que el efecto de la influencia del tiempo de contacto y de la dosificación son variadas. Del mismo modo en la figura 8 hay notoria remoción de Li, siendo la dosificación de biomasa la más influyente que el tiempo de contacto.

3) Comportamiento del As

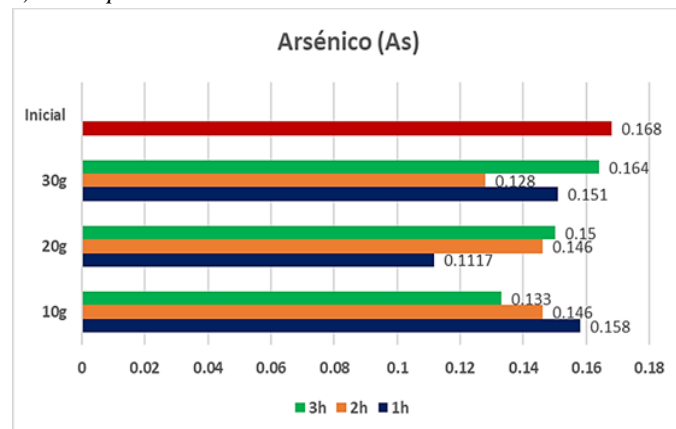


Fig. 7 Nivel de remoción de Arsénico en cada tratamiento.

4) Comportamiento del Li

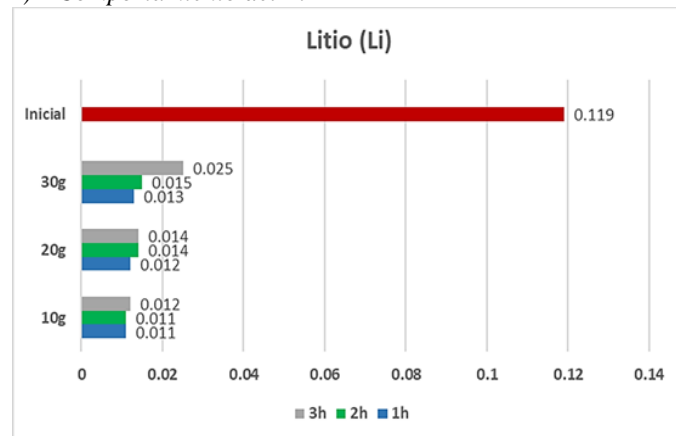


Fig. 8 Nivel de remoción de Litio en cada tratamiento.

C. Análisis de la Varianza ANOVA

TABLA X
ANOVA EN LA REMOCIÓN DE CADMIO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad a = 0.05	Valor crítico para F
Tiempo de contacto	285.458	2	142.729	2.106	0.24	6.944
Dosificación de hongos	660.741	2	330.371	4.875	0.08	6.944
Error	271.084	4	67.771			
Total	1217.283	8				

TABLA XI
ANOVA EN LA REMOCIÓN DE BORO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad a = 0.05	Valor crítico para F
Tiempo de contacto	556.576	2	278.288	13.116	0.018	6.944
Dosificación de hongos	7.311	2	3.655	0.172	0.848	6.944
Error	84.872	4	21.218			
Total	648.872	8				

TABLA XII
ANOVA EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad a = 0.05	Valor crítico para F
Tiempo de contacto	47.554	2	23.777	0.180	0.842	6.944
Dosificación de hongos	59.571	2	29.786	0.226	0.808	6.944
Error	528.265	4	132.066			
Total	635.391	8				

TABLA XIII
ANOVA EN LA REMOCIÓN DE LITIO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad a = 0.05	Valor crítico para F
Tiempo de contacto	374.185	2	187.093	2.336	0.213	6.944
Dosificación de hongos	104.295	2	52.147	0.651	0.569	6.944
Error	320.381	4	80.095			
Total	798.860	8				

ANOVA contando con un nivel de significación del 95%, se determina que el parámetro tiempo de contacto influye notoriamente en la eliminación de B y Li, por otro lado, en las tablas 10 y 12 la dosificación de biomasa presenta mayor efecto de remoción en el Cd más que en el As y, sin lugar a duda la mejor influencia de ambos factores se ve reflejado en

el B, por el contrario, deficiente remoción se aprecia sobre el As.

D. Comparación de Los tratamientos con los ECA, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

En las Tablas 14, 15 y 16, se muestran la comparación de las concentraciones y los tiempos de muestreo y los respectivos tratamientos de 1h, 2h y 3 horas con los ECA para su respectiva categoría 3.

TABLA XIV
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE 1H CON LOS "ECA"

Met.	Unid	PM (inicial)	Tratamiento			ECA
			C2_10g	C3_20g	C3_30g	
Cd	mg/L	0.230	0.175	0.111	0.100	0.01-0.05
B	mg/L	0.503	0.176	0.139	0.188	1-5
As	mg/L	0.168	0.158	0.117	0.151	0.1-0.2
Li	mg/L	0.119	0.011	0.012	0.013	2.5

TABLA XV
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE 2H CON LOS "ECA"

Met.	Unid	PM (inicial)	Tratamiento			ECA
			C5_10g	C6_20g	C7_30g	
Cd	mg/L	0.230	0.159	0.124	0.108	0.01-0.05
B	mg/L	0.503	0.121	0.161	0.327	1-5
As	mg/L	0.168	0.146	0.146	0.128	0.1-0.2
Li	mg/L	0.119	0.011	0.014	0.015	2.5

TABLA XVI
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE 3H CON LOS "ECA"

Met.	Unid	PM (inicial)	Tratamiento			ECA
			C2_10g	C3_20g	C3_30g	
Cd	mg/L	0.230	0.106	0.112	0.089	0.01-0.05
B	mg/L	0.503	0.073	0.065	0.080	1-5
As	mg/L	0.168	0.133	0.150	0.164	0.1-0.2
Li	mg/L	0.119	0.012	0.014	0.025	2.5

Podemos afirmar en las tablas 14, 15 y 16 que la biomasa del hongo "Suillus Luteus" presenta una eficiencia en la remoción de metales pesados moderada alcanzando los ECA, por lo que este análisis es una opción de tratamiento a disposición del público y con un proceso sencillo basada en dos parámetros (tiempo de contacto y dosificación de biomasa). Finalmente, en las tablas 14, 15 y 16 visualizamos que todos los metales cumplen con los ECA categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, a excepción del Cd que sobrepasa los estándares convirtiéndose todavía en peligroso para riego de vegetales y bebida de los animales.

IV. CONCLUSIONES

Cada kilo de hongo tiene un costo de S/.50, para 5L de muestra se requirió de 300g de hongo. En promedio una persona al día consume 50L de agua, para una comunidad de 1000 personas son 50 000L, mediante regla de tres nos haría falta 3000kg de hongo con un costo de S/.150000, sin contar el tamizado y la adsorción atómica sale poco factible a gran

escala.

Se determinó que el empleo de la biomasa del hongo "suillus luteus" reduce la concentración de metales, obteniendo un nivel de remoción aproximadamente del 90 %, con respecto a otros ensayos o tratamientos donde obtienen menor nivel de remoción, y lo más importante llegando a cumplir con estándares de calidad ambiental (ECA) para la categoría 3. Además se determinó que la dosis óptima de biomasa de hongos "suillus luteus" para la eliminación de metales pesados en el drenaje de minas, depende de la concentración inicial de los metales y del tiempo de contacto que se aplique en el tratamiento, logrando determinar que para Cd se necesita 30g de biomasa, para el B es necesario 20g de biomasa, mientras que, para el As es necesario de 20g y finalmente el Li, se requiere 10g de biomasa de hongo para una remoción adecuada y que cumpla con los ECA tercera categoría.

Por otro lado, se evaluó el comportamiento del pH durante el periodo de tratamiento se va modificando, en este caso al agregar los 10g, 20g y 30g de biomasa de hongos "suillus luteus" el pH ha ido aumentando de 2.42 a 5.36. Asimismo, se estimó que el tiempo de contacto óptimo en la remoción de metales pesados en drenaje ácido de 3 horas para la mayoría de los metales a excepción de algunos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad Privada del Norte por el financiamiento de la investigación y también por brindar parte de la infraestructura para el desarrollo de la investigación. Gracias a Jhenyfer Díaz, Oscar Vásquez y Jaqueline Vásquez por facilitar los materiales y equipos para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] Sarmiento, A. M. (2014). Estudio de la contaminación por drenajes ácidos de mina de las aguas superficiales en la cuenca del río Odiel (SO España) [Universidad de Huelva]. <https://investiga.upo.es/documentos/60379bf0a28f0c5681f27e65>
- [2] MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua. (s/f). Ministerio del Ambiente. Recuperado el 11 de junio de 2023, de <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministeriodel-ambiente-minam-en-coordinacion/>
- [3] Berrio Ochoa, M., & Figueroa Aguero, J. J. (2021). Fitorremediación Inducida por Microorganismos en Suelos Contaminados con Iones de Metales Pesados: Revisión sistemática. Universidad César Vallejo.
- [4] E. López Pamo, O. Aduvire, and D. Baretino, "Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro," 2002. Available: https://www.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4-ARTICULO%20TRATAMIENTOS.pdf
- [5] O. Aduvire, "Drenaje Ácido de Mina," España, 9 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Hybrid Event, San Jose – COSTA RICA, July 17 - 19, 2024. 2006. Available: http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0_000001.pdf
- [6] Mena Alberca, M. P., & Rafael Campos, H. A. (2017). Biorremediación de Metales Pesados con Aislados Microbianos Procedentes de Pasivos Ambientales Mineros y Aguas del Rio Hualgayoc - Cajamarca. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- [7] Pérez, J. C. (2013, octubre 3). Suillus luteus. Fungipedia. <https://www.fungipedia.org/hongos/suillusluteus.html>

[8] Higuera y Roberto Oyarzun, P. (2013). Disolución de Sustancias Sólidas Minerales en las Minas. Aulados.net. https://www.aulados.net/Temas_ambientales/Real_Decreto_Almaden/Solubilizacion_sustancias.html

[9] Thomas. (2017, mayo 10). Biorremediación con hongos. Champy Academy. <https://www.champyacademy.com/biorremediacionconhongos/>

[10] MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua. (s/f). Ministerio del Ambiente. Recuperado el 11 de junio de 2023, de <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministeriodel-ambiente-minam-en-coordinacion/>

[11] MINAM. (2022). Estándar de calidad ambiental (ECA). Bookmate. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/preguntasfrecuentes-2/>

[12] Colque-Leey, M. N., Murrugarra-Roncal, J. J., & Licapa-Redolfo, G. S. (2022). Removal of heavy metals using dolomite in acid mine drainage of a mining environmental liability of Hualgayoc. Proceedings of the 20th LACCEI International MultiConference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"

[13] Bardales Shuña, A., & Vilcazan Mamani, E. (2022). Sistemas de tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros en el Perú. Universidad Privada del Norte.

[14] Çabuk, A., Aytar, P., Gedikli, S., Özel, Y. K., & Kocabyık, E. (2013). Biosorption of acidic textile dyestuffs from aqueous solution by Paecilomyces sp. isolated from acidic mine drainage. Environmental Science and Pollution Research International, 20(7), 4540–4550. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1396-9>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del Laboratorio sin Tratamiento

Anexo 2. Resultados del Laboratorio de los Tratamientos de 1,2,3 horas



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 046



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20230523-016 Pág. 2 de 3

METALES TOTALES	L.C. (mg/L)	C-02	C-03	C-04
Plata (Ag)	0.002	0.003	0.005	0.008
Aluminio (Al)	0.02	1.48	1.33	1.60
Arsénico (As)	0.005	0.158	0.117	0.151
Boro (B)	0.003	0.176	0.139	0.188
Bario (Ba)	0.003	0.066	0.082	0.080
Berilio (Be)	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Calcio (Ca)	0.02	271.50	234.80	235.50
Cadmio (Cd)	0.0001	0.1754	0.1117	0.1001
Cerio (Ce)	0.009	<0.009	<0.009	<0.009
Cobalto (Co)	0.0006	0.0098	0.0141	0.0185
Cromo (Cr)	0.0003	0.0279	0.0113	0.0137
Cobre (Cu)	0.002	0.290	0.264	0.325
Hierro (Fe)	0.002	49.300	37.290	41.340
Mercurio (Hg)	0.001	0.004	0.009	0.011
Potasio (K)	0.1	616.0	985.7	1541.0
Litio (Li)	0.003	0.011	0.012	0.013
Magnesio (Mg)	0.02	34.76	49.49	70.58
Manganeso (Mn)	0.0003	36.3910	29.0590	19.6130
Molibdeno (Mo)	0.002	<0.002	0.003	0.006
Sodio (Na)	0.06	15.33	15.38	20.30
Níquel (Ni)	0.0006	0.0181	0.0158	0.0172
Fósforo (P)	0.01	73.96	167.80	279.90
Plomo (Pb)	0.002	0.105	0.051	0.047
Antimonio (Sb)	0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Selenio (Se)	0.005	<0.005	<0.005	0.009
Silicio (SiO ₂)	0.01	9.81	8.83	9.12
Estaño (Sn)	0.003	0.011	0.016	0.025
Estroncio (Sr)	0.0003	0.7207	0.6635	0.7138
Titanio (Ti)	0.0007	0.0010	<0.0007	0.0014
Talio (Tl)	0.002	0.021	<0.002	<0.002
Vanadio (V)	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (Zn)	0.002	48.990	38.230	36.350

CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 05230256

ENSAYOS		QUÍMICOS				
Código de la Muestra	C-01	-	-	-	-	
Código Laboratorio	05230256-01	-	-	-	-	
Matriz	Residual	-	-	-	-	
Descripción	Industrial	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	Pino Cobaco	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	1.967	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.168	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	0.503	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.024	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	237.8	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.230	-	-	-
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.004	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	0.278	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	16.55	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0910	1.083	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.119	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	16.43	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	31.21	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	2.282	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.019	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.037	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.099	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	377.3	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	4.400	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	0.013	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	0.558	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.021	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.009	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.02	24.55	-	-	-
Silice (SiO ₂)	mg/L	0.22	9.42	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.00	<LCM	-	-	-

Cajamarca, 11 de mayo de 2023

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - L1.7 | Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
 Celular: 998392893 - 998393974
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
 www.colecbi.com