



## TRATAMIENTO DE EFLUENTES MINEROS CON ESPONJAS DE POLIURETANO Y BIORREMEDIACIÓN COM LA BACTERIA SHEWANELLA

Oscar Rafael Tinoco Gómez \*, Elvis Henry Moscoso Huaira, Shadia Suhely Atte Oyarce, Oscar Federico León Martínez, Carlos Francisco Cabrera Carranza  
UNMSM -e-mail: otinocog@gmail.com

### RESUMO

El trabajo tuvo como objetivo determinar la acción remediadora de esponjas de poliuretano y bacterias para el zinc. Se inició con la extracción de muestras de efluentes de una unidad minera, las cuales se procesaron en laboratorio certificado e identificando los metales pesados contenidos; en paralelo, se destinó una muestra del mismo efluente a fue llevado a un laboratorio de Microbiología acreditado, para su cultivo correspondiente. Su observación en laboratorio, junto con la revisión del estado del arte, permitió identificar a la bacteria Shewanella para el proceso de biorremediación. Posteriormente, se prepararon muestras sintéticas del efluente, conteniendo los metales pesados identificados. Se realizaron pruebas de coagulación y floculación, con la finalidad de reducir la concentración de metales y decolorar el efluente. Se precisa que las esponjas de poliuretano, fueron analizadas con microscopio electrónico de barrido (SEM), para su caracterización previa al proceso indagatorio.

Luego, las esponjas fueron sometidas a esterilización en una autoclave y se prepararon los medios de cultivo para la bacteria. En simultáneo, se reactivaron las bacterias Shewanella y se inocularon a las esponjas. Para el trabajo experimental, se optó por un diseño 2x2, con los siguientes criterios: un primer factor fue la presencia o ausencia de pre tratamiento al efluente (coagulación-floculación); un segundo factor fue la presencia o ausencia de bacterias. En todos los casos intervinieron las esponjas de poliuretano. Se demostró que la combinación de esponja de poliuretano, el pre tratamiento con cal y Sudoflock 2500-P y la bacteria shewanella permite obtener altos niveles de reducción del zinc en efluente minero. Se confirma la acción de la shewanella como elemento reductor de metales pesados.

**PALAVRAS-CHAVE:** tratamiento efluente minero, poliuretano, shewanella.

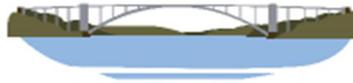
### ABSTRACT

The objective of the work was to determine the remedial action of polyurethane sponges and bacteria for zinc. It began with the extraction of effluent samples from a mining unit, which were processed in a certified laboratory and identifying the heavy metals contained; in parallel, a sample of the same effluent was sent to a laboratory of accredited Microbiology, for its corresponding culture. His observation in the laboratory, together with the review of the state of the art, made it possible to identify the Shewanella bacteria for the bioremediation process. Then, synthetic samples of the effluent were prepared, containing the heavy metals identified. Coagulation and flocculation tests were carried out, in order to reduce the concentration of metals and to discolor the effluent. It is specified that the polyurethane sponges were analyzed with scanning electron microscopy (SEM), for their characterization prior to the investigative process. Subsequently, the sponges were subjected to sterilization in an autoclave and culture media for the bacteria were prepared. Simultaneously, the Shewanella bacteria were reactivated and inoculated into the sponges. For the experimental work, a 2x2 design was chosen, with the following criteria: a first factor was the presence or absence of pre-treatment to the effluent (coagulation-flocculation); a second factor was the presence or absence of bacteria. In all cases polyurethane sponges intervened. It was demonstrated that the combination of polyurethane sponge, the pre-treatment with lime and Sudoflock 2500-P and the bacteria shewanella allows to obtain high levels of zinc reduction in mining effluent. The action of shewanella is confirmed as a heavy metal reducing element.

**KEY WORDS:** mining effluent treatment, polyurethane, shewanella

### INTRODUCCIÓN

La actividad minera es una de las principales actividades económicas del Perú, generadora de empleos y divisas, pero también depositaria de conflictos ambientales que han trascendido las fronteras del país. Uno de los aspectos más sensibles son los conflictos relacionados con el ambiente, siendo los más emblemáticos Yanacocha, Conga o Tia Maria. El fondo



del asunto es el contenido de sustancias tóxicas en los residuos resultantes del proceso de extracción y tratamiento de los metales, a partir del trabajo en mina.

En la industria minera del Perú se han aplicado métodos físico-químicos o biológicos para el tratamiento de estos efluentes, y, por tanto, es preocupación de empresa, estado y sociedad, la búsqueda de alternativas más económicas y eficientes en el manejo ambiental.

El contenido de los efluentes mineros, en la zona en estudio, contiene, entre otros, metales pesados: como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, mercurio, selenio, níquel, cadmio, arsénico coliformes termotolerantes, DBO, DQO, entre otros. El presente trabajo, consiste en la implementación del tratamiento de efluentes mineros, que contienen, entre otros, zinc, con base en esponjas de poliuretano y posterior biorremediación con bacterias. La empresa, destinataria de este diseño del Módulo de Tratamiento de efluentes mineros, es una Unidad Minera localizada en Julcani, Huancavelica, a más de 4200 msnm

## OBJETIVOS

Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes de la mina Julcani, Huancavelica con esponjas de poliuretano y biorremediación con la bacteria shewanella permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles.

## METODOLOGÍA

Se extrajeron muestras de efluentes de la unidad minera Julcani, Huancavelica, en la sierra central del Perú, las cuales fueron procesadas en laboratorio certificado. Se identificaron los metales pesados. Un volumen mayor de este efluente, fue llevado a un laboratorio de Microbiología acreditado, para su cultivo correspondiente. Su observación en laboratorio, junto con la revisión del estado del arte, permitió identificar a la bacteria Shewanella para el proceso de biorremediación. Posteriormente, se prepararon muestras sintéticas del efluente, conteniendo los metales pesados identificados. Se realizaron pruebas de coagulación y floculación, con la finalidad de reducir la concentración de metales y decolorar el efluente. Para ello, se utilizó óxido de Calcio (1 kg), polímero Sudflock 2500-20 (coagulante) y papel filtro whatman. Para preparar las muestras sintéticas se emplearon sulfato de cromo y nitrato de cobre.

En la figura 1 se muestra parte del proceso.



**Figura 1. Proceso de Coagulación-Floculación. Fuente: propia**

Teniendo como base pruebas anteriores, se partió de un resultado óptimo con 3 gr. de cal en 100 ml de efluente; se replicó el experimento con 3000 ml de efluente minero, se añadió 90 gr. de óxido de calcio. Para hacer la mezcla del efluente y la cal, se utilizó un envase y un agitador. El agitador inició con una velocidad de 1000 RPM y se agregó la cal, se esperó



5 minutos para su disolución, se agregó el polímero y se dejó en agitación otros 5 minutos más, la velocidad de agitación consideró el intervalo de 1200 a 1400 rpm. Se continuó con la filtración y se separó en otro envase.

Las esponjas de poliuretano, donadas por una empresa, fueron analizadas con microscopio electrónico de barrido (SEM), para su caracterización.

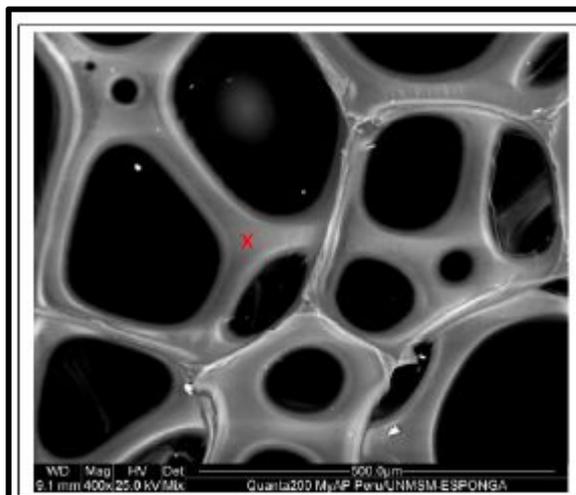


Figura 2 Micrografía de la esponja. Fuente: propia.

En una tercera etapa, las esponjas fueron sometidas a esterilización en una autoclave, considerando temperatura de 121 °C, presión de 15 psi, por un tiempo de 15 minutos y luego, se prepararon los medios de cultivo para la bacteria, utilizando extracto de levadura, sulfato de Amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), fosfato dipotásico ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) y fosfato disódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ). En simultáneo, se reactivaron las bacterias *Shewanella* como se muestra en la figura 3; se hizo crecer a la bacteria por un tiempo de 8 horas en Caldo Caso, incubándolo a 30 °C. Luego, se inocularon las bacterias a las esponjas en medio Caldo ZZ posteriormente, fue incubado a una temperatura de 30°C por un tiempo de 8 horas (figura 4). Finalmente se escurrió el líquido restante para obtener la esponja impregnada de bacterias. El líquido restante con bacterias, que quedó después de escurrir, fue descartado en la máquina autoclave a una presión de 15 psi, a una temperatura de 121 °C por un tiempo de 15 minutos.

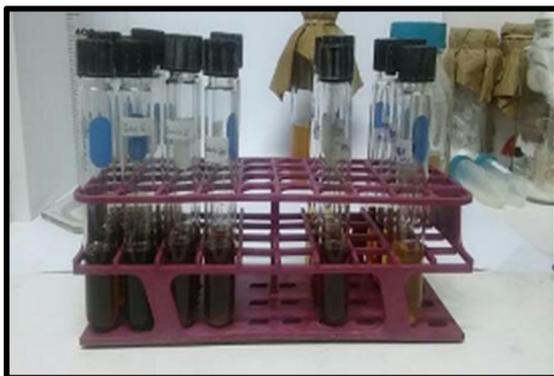


Figura 3. Reactivación de la bacteria



Figura 4. Incubación de la bacteria

Para el trabajo experimental, se optó por un diseño 2x2, con los siguientes criterios: un primer factor fue la presencia o ausencia de pre tratamiento al efluente (coagulación-floculación); un segundo factor fue la presencia o ausencia de bacterias. En todos los casos intervinieron las esponjas de poliuretano.

Este proceso es subsiguiente al tratamiento con coagulante y floculante, el efluente fue tratado con las esponjas de poliuretano con bacterias inoculadas con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos. El efluente tuvo un volumen de 3000 ml, de la misma forma el volumen de las esponjas con bacterias; se juntó en un envase cerrado durante un tiempo de 2 horas y finalmente se procedió con el filtrado en papel whatman. El resultado que se obtuvo de la inoculación de las bacterias y el tratamiento correspondiente se evaluó en un laboratorio acreditado.

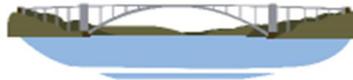


Figura 5. Esponja com bacteria sumergido



Figura 6. Efluente Filtrado

## RESULTADOS

La tabla 1 muestra la caracterización de la muestra inicial de efluentes mineros, siendo el Zinc el metal pesado con contenido superior el límite permisible de Sedapal.

Tabla N° 1: Caracterización de efluentes textiles en planta

Metales	Unidad	Expresión	Valor	VMA Sedapal
Zinc	mg/L	Zn	10.27	10
Cobre	mg/L	Cu	0.38607	3

Fuente: propia

La figura 7 ilustra la variación de color del efluente, a raíz del pre tratamiento con cal y el polímero Sudflock.

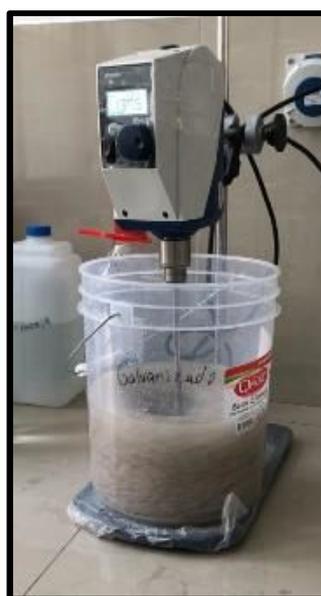


Figura 7. Esponja com bacteria sumergido



La tabla 2 muestra los contenidos de metales pesados en las diferentes fases del diseño experimental. El metal pesado con niveles de contaminación es el zinc. Sólo con la esponja y con pre tratamiento se reduce de 10.21 a 1.45 unidades. Con bacterias y esponjas de poliuretano se obtiene 0.04831, que es mucho menor que el valor inicial. Para el caso del cobre, se observa disminución del contenido con el uso de las bacterias. Pero todos los valores están dentro de los permisibles.

**Tabla N° 2: Caracterización de efluentes mineros fase diseño experimental**

Metales	Unidad	T-STE01	T-STEBAC01	T-CTE01	T-CTEBAC01	VMA Sedapal
Cobre	mg/L	0.373	0.371	0.00391	0.00137	3
Zinc	mg/L	10.21	2.21	1.45	0.04831	10

Fuente: propia.

En donde:

T-STE01	Sin tratamiento, con esponjas
T-STEBAC01	Sin tratamiento, con esponjas + Bacterias
T-CTE01	Con tratamiento, con esponjas
T-CTEBAC01	Con tratamiento, con esponjas + Bacterias
VMA SEDAPAL	Límite máximo Permissible, según SEDAPAL (agua potable)

Gráfico 1: Comparación resultados diseño experimental del zinc

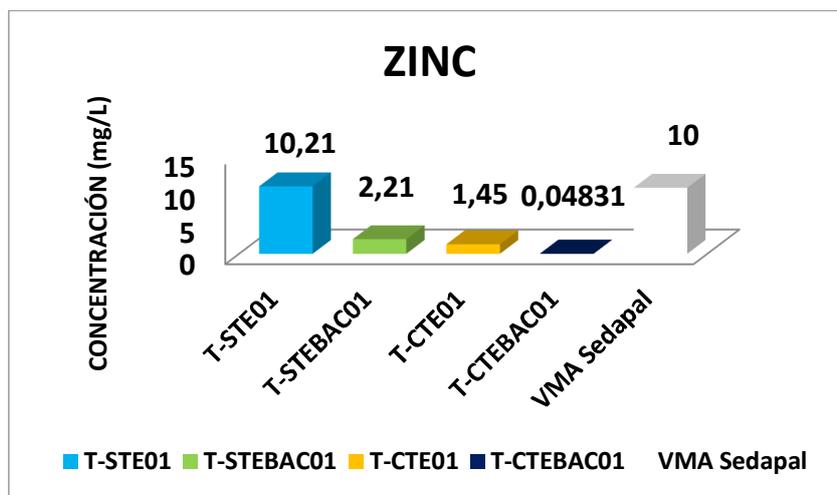


Gráfico 1. Fuente: Propia

El gráfico 1 ilustra la variación del contenido de zinc en las muestras. Comparando los resultados con pre tratamiento y sin él, se ha disminuido notablemente. Algo similar ocurre, pero en mayor proporción, con la aplicación de las bacterias.

## CONCLUSIONES

La combinación de esponja de poliuretano, el pre tratamiento con cal y Sudoflock 2500-P y la bacteria shewanella permitió obtener altos niveles de reducción del zinc en efluente minero.

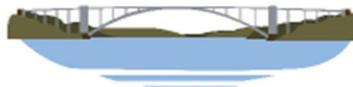
Se confirma la acción de la shewanella como elemento reductor de metales pesados.

El pre tratamiento cumple un papel importante en este proceso de biorremediación de efluentes mineros.

## AGRADECIMIENTOS

Al programa estatal Innóvate Perú, Convenio N° 390- PIAP-PNP-2014, que financió este estudio.

A la compañía minera Buenvanetura, por su apoyo incondicional en el acceso y operación en la Mina Julcani, Huancavelica, Perú.



Al Laboratorio de Micro Biología de la UNMSM

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS,

- Bayona, Felipe, 2018. Formación y evolución de biopelículas de shewanella sp. cepa USBA 344 sobre superficies nanoestructuradas. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 97-98
- Botello, W; Ortiz, C & Peña, S, 2016. Inmovilización microbiana en polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales. Revista NOVA. 2016; 13 (26): 99-106. Colombia.
- Centeno, E; Rodriguez, D & Ugalde, J, 2017. Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias por medio de un filtro percolador con relleno de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un efluente de sedimentador primario
- Chivita y Dussan. 2003. Evaluación de matrices para la inmovilización de Pseudomonas spp en biorremediación de fenol. Revista Colombiana de Biotecnología Vol V No.2 Diciembre, 5 - 10
- Flores, Judith, 2017. Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (dhs) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz – 2017. Informe de investigación, Facultad de Ciencias Ambientales, UNASAM, Huaraz, Perú. 34-36
- Pinillos, Juan. 2013. Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste. Tesis Ingeniería Ambiental, UNI