



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTAMINADOS
CON SULFATOS Y METALES MEDIANTE EL
ACONDICIONAMIENTO DE BIOMASA ANAEROBIA
EN SISTEMAS EN LOTE, CONTINUO E
INTEGRADO ANAEROBIO/AEROBIO**

TITULACIÓN POR ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

PRESENTA:

M.C. CYNTHIA DENISSE LORETO MUÑOZ

DIRECTOR: DRA. ONOFRE MONGE AMAYA

CO-DIRECTOR: DR. FRANCISCO JAVIER ALMENDARIZ TAPIA

Hermosillo, Sonora

OCTUBRE, 2021

Repositorio Institucional UNISON



**“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

APROBACION DEL JURADO

de la tesis presentada por:

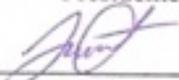
Cynthia Denisse Loreto Muñoz

Esta tesis ha sido revisada por cada uno de los miembros del Jurado y por mayoría de votos la han encontrado satisfactoria.

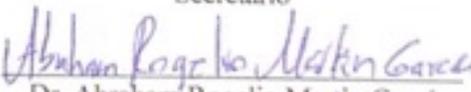
23/08/2021


Dra. Onofre Monge Amaya
Presidente

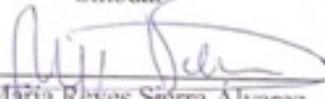
23/08/2021


Dr. Francisco Javier Almendariz Tapia
Secretario

23/08/2021


Dr. Abraham Rogelio Martin Garcia
Sinodal

23/08/2021


Dra. Maria Reyes Sierra Alvarez
Sinodal

23/08/2021


Dra. Valeria Ochoa Herrera
Sinodal



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

AUTORIZACIÓN DEL EXAMEN DE GRADO

28 de Septiembre de 2021.

Por medio de la presente se hace constar que la estudiante **CYNTHIA DENISSE LORETO MUÑOZ**, ha cumplido satisfactoriamente con los requisitos académicos correspondientes para la realización del Examen de grado del programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería.

DR. ABRAHAM ROGELIO MARTIN GARCIA

**COORDINADOR DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA:
INGENIERÍA QUÍMICA**



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

30 de Agosto de 2021

M.C. Cynthia Denisse Loreto Muñoz

Estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

Presente.-

Por medio de la presente le comunico que en sesión extraordinaria de la Comisión Académica del Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química con fecha 27 de Agosto de 2021, se aprobó su solicitud de aplicación del Acuerdo de Colegio Académico 06-137/2015 para estudiantes del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química. Dicho acuerdo establece que para estudiantes que cuenten con al menos dos artículos publicados y/o aceptados dentro de los 8 semestres de duración del programa, podrán titularse mediante un esquema alternativo al tradicional, en donde el estudiante tendrá la opción de presentar los artículos como su documento escrito que deberá defenderse en la fase oral del examen de grado.

Lo anterior debido a que presentó ante la Comisión Académica del Posgrado evidencias de la publicación de los siguientes artículos en revistas indexadas con resultados relacionados con su Tesis Doctoral.

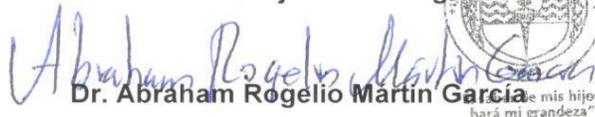
1. **Loreto Muñoz, C. D.**, Certucha Barragán, M. T., Almendariz Tapia, F. J., OchoaHerrera, V., and Monge Amaya, O. 2019 Copper effect in sulfate removal using a fixed bed reactor. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 35(Special Issue 3), 37–44. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp03.05

2. **Loreto-Muñoz, C. D.**, Almendariz-Tapia, F. J., Martin-García, A. R., Sierra-Alvares, R., Ochoa-Herrera, V., and Monge-Amaya, O. 2021 Sulfate-rich wastewater treatment using an integrated anaerobic/aerobic biological system. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 20(2), 1005–1017. DOI: 10.24275/rmiq/IA2332

3. **Loreto, C. D.**, Monge, O., Martin, A. R., Ochoa-Herrera, V., Sierra-Alvarez, R., and Almendariz, F. J. 2021 Effect of carbon source and metal toxicity for potential acid mine drainage (AMD) treatment with an anaerobic sludge using sulfate-reduction. Water Science and Technology, 83(11), 2669–2677. DOI: 10.2166/wst.2021.163

ATENTAMENTE

"El saber de mis hijos hará mi grandeza"


Dr. Abraham Rogelio Martín García



**POSGRADO EN
CIENCIAS DE
LA INGENIERÍA:
INGENIERÍA QUÍMICA**

Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

Rosales y Blvd. Luis Encinas Edif. 5 "C", Hermosillo, Sonora. C.P. 83000
Tel. 01 (662) 289 37 84, 259 21 05 ó 06

RELATORIA

Para llevar a cabo la obtención del grado de Doctor con la opción de publicación de artículos como alternativa para la fase escrita del examen de grado se presenta una descripción de los artículos publicados durante el estudio doctoral titulado “*Tratamiento de efluentes contaminados con sulfatos y metales mediante el acondicionamiento de biomasa anaerobia en sistemas en lote, continuo e integrado anaerobio/aerobio*”. Los artículos publicados concuerdan con el objetivo general de este trabajo: Estudiar el tratamiento de efluentes contaminados con sulfatos y metales en sistemas biológicos anaerobios y aerobios con soluciones sintéticas. En base a los resultados obtenidos durante este estudio se publicaron tres artículos como primer autor, en revistas indizadas en JCR, los cuales se mencionan a continuación.

Durante la primera etapa del trabajo de investigación se realizó un estudio preliminar donde se analizó la remoción de sulfato de un consorcio microbiano ante una solución sintética con una alta concentración de Cu y bajo pH en un reactor de lecho fijo. Dicho reactor operó durante 28 d, en dos etapas en presencia y ausencia de Cu, donde se evaluó el efecto del contaminante en la actividad sulfato reductora (ASR). Los resultados no mostraron alteraciones significativas en la remoción de materia orgánica y sulfato, así como en la producción de sulfuro. En esta primera etapa se demostró que el uso de bacterias sulfato reductoras (BSR) en un biorreactor de lecho fijo a un TRH y en exceso de sulfato para la remoción de Cu es posible. Los resultados de esta etapa fueron presentados en el Congreso Internacional Calidad del Agua en Cd. Chihuahua, Chihuahua. Además, fueron publicados en el artículo titulado “*Copper effect in sulfate removal using a fixed bed reactor*” en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental.

En la segunda etapa se evaluó el comportamiento de un sistema biológico integrado anaerobio-aerobio simulando un efluente contaminado con sulfatos a diferentes cargas volumétricas y relaciones materia orgánica-sulfatos. De manera independiente se acondicionó un reactor anaerobio a condiciones sulfato reductora. Posteriormente se realizó la integración del sistema biológico integrado anaerobio/aerobio (IAAB). En dicho reactor se evaluó el efecto de la relación DQO/SO_4^{2-} y TRH. Al finalizar la operación del reactor el

flujo de electrones fue hacia la sulfidogénesis (91%). Con este estudio se demostró que un sistema biológico de dos etapas, anaerobio/aerobio, operando a altas COV puede ser utilizado para tratar aguas residuales contaminadas con sulfatos y materia orgánica. Los resultados de esta etapa fueron presentados en el XIII Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia (DAAL XIII) en Medellín, Colombia, donde se obtuvo la distinción como Póster Sobresaliente. Los resultados de este trabajo fueron publicados en la Revista Mexicana de Ingeniería Química en el artículo titulado “*Sulfate-rich wastewater treatment using an integrated anaerobic/aerobic biological system*”.

Como última etapa se realizaron estudios en lote para determinar cual sería una fuente de carbono adecuada para la sulfato reducción y el efecto tóxico del Cu en un inóculo anaerobio. En botellas serológicas se determinó el porcentaje de electrones equivalentes, actividad máxima específica metanogénica y la actividad de generación de sulfuro en presencia de diferentes sustratos. El efecto del cobre se evaluó en ensayos en lote donde se probaron diferentes concentraciones de cobre (0 – 50 mg/L). Comparado con otras fuentes de carbono la glucosa probó ser un sustrato eficiente que puede ser empleado en la producción de sulfuro biogénico para el tratamiento de DAM. Sin embargo, la remoción de cobre no pudo atribuirse a una precipitación como CuS. Los resultados de esta etapa fueron presentados en las Latin American Meetings on Anaerobic Digestion 2020, en la sesión de México, donde se obtuvo la distinción Best Paper Award. Los resultados de este estudio fueron publicados en la revista Water Science and Technology en el artículo titulado “*Effect of carbon source and metal toxicity for potential acid mine drainage (AMD) treatment with an anaerobic sludge using sulfate-reduction*”.

En base a los resultados obtenidos en el trabajo doctoral se cumplieron los objetivos planteados. Con este trabajo se pudo probar que diferentes fuentes de carbono y configuraciones de sistemas biológicos anaerobios y aerobios pueden ser utilizados para el tratamiento de efluentes contaminados con sulfatos y metales. Como complemento a la relatoría se anexan las publicaciones mencionadas anteriormente.

EFECTO DEL COBRE PARA LA REMOCIÓN DE SULFATO EN UN REACTOR DE LECHO FIJO

Copper effect in sulfate removal using a fixed bed reactor

Cynthia Denisse LORETO MUÑOZ¹, María Teresa CERTUCHA BARRAGÁN¹,
Francisco Javier ALMENDARIZ TAPIA¹, Valeria OCHOA-HERRERA² y Onofre MONGE AMAYA^{1*}

¹ Unidad Centro, Laboratorio de Biorremediación, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora. Rosales y Blvd. Luis Encinas, Hermosillo, Sonora, México

² Colegio de Ciencias Ingenierías-Politécnico, Universidad San Francisco de Quito, Diego de Robles y Vía Interoceánica s/n, Quito, Ecuador

*Autor de correspondencia: onofre.monge@unison.mx

(Recibido febrero 2018, aceptado octubre 2018)

Palabras clave: cobre, sulfato reducción, reactor de lecho fijo

RESUMEN

La explotación de minerales ricos en pirita genera un drenaje ácido (DAM), el cual presenta un pH ácido, alta concentración de metales y sulfatos, y pueden causar problemas ambientales. En los últimos 20 años se han estudiado sistemas pasivos para el tratamiento de DAM, como las lagunas anaerobias, biorreactores y las barreras permeables. Los biorreactores, en condiciones controladas, emplean inóculos de bacterias sulfato reductoras (BSR) para tratar efluentes y precipitar metales de grado comercial. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del cobre (Cu) en la remoción de sulfato en un reactor de lecho fijo. Durante 28 d se operó un reactor de lecho fijo, con un tiempo de residencia hidráulico (TRH) de 12 h y 0.67 g DQO/g SO₄²⁻. Durante 7 d la Fase I (solución sintética con 50 mg Cu/L) permitió una remoción de Cu del 99.59 ± 0.43 % y una producción de sulfuro de 39.29 mg S²⁻/L·d. Posteriormente, el reactor operó sin Cu (Fase II), para demostrar que no se afectó la actividad sulfato reductora (ASR) (40.25 mg S²⁻/L·d). Los resultados no muestran alteraciones significativas en la remoción de materia orgánica y sulfato, así como en la producción de sulfuro después de la adición de Cu. Se concluye que se pueden utilizar las BSR para el tratamiento de DAM.

Key words: copper, sulfate-reduction, fixed bed reactor

ABSTRACT

Mining of sulfide-rich pyritic ores produce acid mine drainage (AMD), which contains high metal concentrations and have acid pH, causing major environmental problems. Over the last 20 years a variety of passive AMD treatment systems, like anaerobic wetlands, bioreactors and permeable reactive barriers, have been studied. Under controlled conditions bioreactors employ inoculants of sulfate-reducing bacteria (SRB) to treat effluents and capture commercial grade metals. The objective of this research was to evaluate the effect of Cu on the removal efficiency of sulfate in a fixed bed reactor. During 28 d the fixed bed reactor maintained a hydraulic residence time (HRT) of

12 h and an influent rate of 0.67 gCOD/gSO₄²⁻. Phase I (synthetic solution with 50 mg Cu/L) lasted 7 d, allowing Cu removal of 99.59 ± 0.43 % and sulfide production of 39.29 mg S²⁻/L·d. Sulfate-reducing activity (SRA) was not affected (40.25 mg S²⁻/L·d) during Phase II (21 d without Cu). Results showed no significant alteration in sulfate and COD removal, as well as sulfur production after the addition of Cu. It is concluded that SRB can be used for AMD treatment.

INTRODUCCIÓN

Los efluentes mineros varían su composición sólida y líquida en función del proceso, así como por el método de enriquecimiento y el tratamiento que recibe el mineral. Las aguas de mina se pueden clasificar en tres grupos: drenajes ácidos (DAM) con pH menor a 6; drenajes neutros con pH mayor a 6; drenajes alcalinos con pH mayor a 6 y con concentraciones de carbonatos mayores a 1000 mg/L (Iakovleva et al. 2015). Los DAM son resultado de la oxidación de sulfuros como la pirita, y la marcasita, así como de la lixiviación de metales provenientes de rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua. Su característica principal es que tienen un pH ácido, así como concentraciones altas de metales y sulfatos (Vijayaraghavan y Yun 2008). Está bien documentado que la presencia de metales pesados en el agua puede ocasionar daños a la salud humana, incluso a bajas concentraciones (van den Brand et al. 2015). A nivel molecular pueden ocasionar bloqueo de grupos funcionales en biomoléculas, como la cisteína, desplazamiento de centros catiónicos en enzimas importantes y la formación de especies reactivas de oxígeno dañando carbohidratos, el ADN, proteínas y lípidos (Covarrubias y Peña Cabriales 2017). La ingesta de organismos de la cadena trófica con alta carga de elementos metálicos tóxicos ocasiona problemas en la salud humana, especialmente en infantes, dado que sus sistemas corporales aún están en desarrollo y que su ingesta es proporcionalmente mayor que la de un adulto (Lorenzo Márquez et al. 2016).

Las tecnologías de remediación para aguas contaminadas se pueden dividir en abióticas y bióticas (Schippers et al. 2013). Algunos ejemplos de tecnologías abióticas son la precipitación, remediación electroquímica, ósmosis inversa, ajuste de pH, oxidación y la adsorción (Kalin et al. 2006). Las tecnologías de remediación abióticas existentes para la remoción de metales de aguas residuales pueden ser costosas o poco eficientes a bajas concentraciones del contaminante (Kiran et al. 2017).

Los tratamientos biológicos representan una alternativa eficiente y rentable, ya que permiten

emplear tiempos de residencia hidráulica (TRH) cortos, volúmenes pequeños y son más económicos (van den Brand et al. 2015). Por ejemplo, los biorreactores anaerobios de flujo ascendente (UASB), de lecho fluidizado o de membrana, se han utilizado como una alternativa en la remediación de DAM, ya que son económicos y tecnológicamente viables (Lu et al. 2016).

Una alternativa eficiente es la utilización de sulfuros, como producto de la actividad de las bacterias sulfato reductoras (BSR) para la precipitación de metales pesados (van den Brand et al. 2015). Los sulfuros reaccionan con los metales formando precipitados insolubles (Martins et al. 2009). No obstante, algunos parámetros que afectan la actividad sulfato reductora son la salinidad, la temperatura, el pH, el oxígeno, la concentración de sulfato (relación DQO/SO₄²⁻) y la composición de la materia orgánica (DQO) (van den Brand et al. 2015). Una limitación en la utilización de la reducción de sulfatos para la remediación de DAM es que la mayoría de las especies de BSR son sensibles a la acidez (Ivan y Johnson 2014). El pH óptimo para el crecimiento de BSR se encuentra en el rango de 5 a 9, pero existen bacterias resistentes a medio ácido (Elliott et al. 1998).

Los metales pesados son tóxicos para los microorganismos, incluidas las BSR, debido a que sustituyen los iones esenciales en sitios celulares, bloqueando los grupos funcionales de las enzimas. Sin embargo, existen algunos microorganismos que son metalotolerantes. Hay consorcios bacterianos resistentes a concentraciones letales de metales pesados, como Fe (400 mg/L), Zn (150 g/L) y Cu (80 mg/L) (Martins et al. 2009).

La carga orgánica volumétrica g DQO/g SO₄²⁻ en la alimentación puede ser utilizada para controlar la producción de H₂S en la precipitación de metales (Schippers et al. 2013). A una relación de 0.67 g DQO/g SO₄²⁻, con un pH ácido y añadiendo etanol como fuente de electrones se alcanzó una reducción de sulfatos entre el 70 y el 92 % y una precipitación de metales mayor al 99 % (Sahinkaya y Yucesoy 2010). A una relación DQO/SO₄²⁻ estequiométrica

de 0.67, se alcanza alrededor del 60 % de actividad sulfato reductora (Bratkova et al. 2013).

La precipitación de sulfuros metálicos depende del tamaño de partícula de los sulfuros formados, así como (TRH). Por ejemplo, en reactores de lecho fluidizado inverso (IFBR) operados a un TRH de 24 h y una relación de 1 g DQO/g SO_4^{2-} se alcanzaron valores de remoción de materia orgánica, sulfato y Cu de 39.5, 44.3 y 99 %, respectivamente (Villa Gómez et al. 2015). Es importante especificar que en ocasiones los TRH cortos evitan que las BSR neutralicen la acidez y el precipitado de metales (Singh et al. 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una solución sintética de cobre en la remoción de sulfato en un reactor de lecho fijo. Este trabajo fue realizado para analizar el comportamiento de un consorcio microbiano ante una alta concentración de Cu y pH bajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del agua de mina

Un efluente minero fue caracterizado con base en parámetros físicos y químicos y concentración de metales. Los metales cuantificados fueron Cu, Fe y Mn, mediante absorción atómica con una matriz de HNO_3 al 2 %. La concentración de sulfatos se realizó según el método turbidimétrico, la demanda química de oxígeno (DQO), relación de sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos totales (SST) según los métodos indicados en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, edición 22 (Rice et al. 2012). Además, se determinó el pH con un potenciómetro Hanna Instruments pH 211.

Análisis en el reactor de lecho fijo

El sistema consistió de un reactor de lecho fijo construido con una columna de acrílico de 40 cm de alto y diámetro interno de 6.85 cm, con un volumen de operación de 1.5 L (**Fig. 1**), y fue colocado en un cuarto de temperatura controlada a 35 °C. El reactor fue empacado con un soporte de zeolita clinoptilolita no activada con un tamaño de partícula de 2 mm y se inocularon 500 mL de biomasa anaerobia. Se utilizó zeolita clinoptilolita ya que es un buen soporte para inmovilizar biomasa, no pierde su estructura ni cambia sus propiedades. El inóculo presentó una relación de SSV/SST de 56.50 % y 0.0928 g SSV/g lodo. La velocidad de ascenso del flujo del reactor fue de 0.5426 m/h y se mantuvo una recirculación de 48 L/d, para evitar la formación de canales preferenciales.

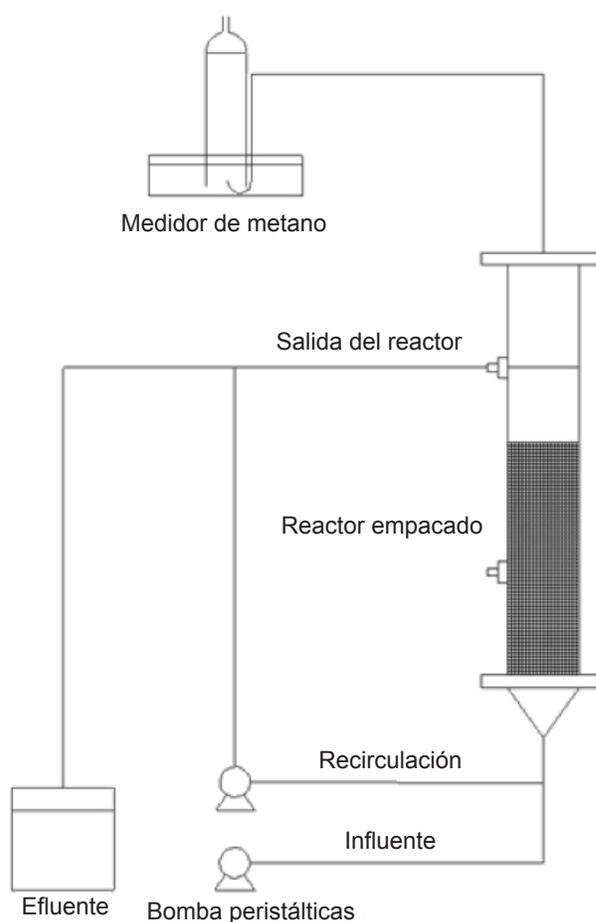


Fig. 1. Diagrama esquemático del reactor de lecho fijo utilizado en este estudio (0.67 g DQO/g SO_4^{2-} , TRH de 12 h y 37 °C)

Previo a la adición de Cu, el reactor de lecho fijo operó con un TRH de 12 h, pH de 7-8 y una relación de 0.67 g DQO/g SO_4^{2-} , con sulfato de sodio (Na_2SO_4) y glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) como fuente de carbono (**Cuadro I**).

El efecto del Cu en la remoción de sulfatos fue evaluado en dos fases. Durante la Fase I se alimentó una solución sintética, preparada con base en la caracterización del efluente de la mina con una concentración de 50 mg Cu/L, durante 7 d. En la Fase II se alimentó un medio rico en sulfatos sin Cu, con el fin de estabilizar nuevamente el sistema. El **cuadro II** muestra la composición del medio y las condiciones de operación durante las dos fases.

Cada 24 h se determinó el pH, TRH, consumo de materia orgánica y sulfatos así como la producción de sulfuros, durante ambas fases. En la Fase I se monitoreó la remoción de Cu con un espectrómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo



Sulfate-rich wastewater treatment using an integrated anaerobic/aerobic biological system

Tratamiento de aguas residuales con alto contenido de sulfatos empleando un sistema biológico integrado anaerobio/aerobio

C.D. Loreto-Muñoz¹, F.J. Almendariz-Tapia¹, A.R. Martín-García¹, R. Sierra-Alvarez², V. Ochoa-Herrera³,
O. Monge-Amaya^{1*}

¹Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora. Rosales y Blvd. Luis Encinas. Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000.

²Department of Chemical and Environmental Engineering, University of Arizona. P.O.Box 210011. Tucson, Arizona, United States, C.P. 85721-0011.

³Colegio de Ciencias e Ingenierías- El Politécnico, Instituto Biosfera, Universidad San Francisco de Quito. Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador, C.P. 17-1200-841.

Received: January 15, 2021; Accepted: March 26, 2021

Abstract

This study evaluated the performance of an integrated anaerobic/aerobic (IAAB) system used for the biological treatment of sulfate-rich wastewater through the reduction of sulfate and the oxidation of sulfide to assess its potential for possible acid mine drainage (AMD) treatment. Separately, an anaerobic sludge was adapted to sulfate-reducing conditions, and an aerobic sludge was activated in a glass column with sucrose as carbon source. Once the sludge activation concluded, the IAAB system, composed of an anaerobic sulfate-reducing reactor (ASRr) and an aerobic sulfide-oxidizing reactor (ASOr), was integrated and operated with a sulfate-rich synthetic solution. The reactor operated with increasing organic (2-4 g COD/L•d) and sulfate (0.4-5.97 g SO₄²⁻/L•d) loading rates and decreasing COD/SO₄²⁻ ratios (5-0.67). During the 43 days of adaptation of the ASRr, a COD/SO₄²⁻ ratio of 1 g/g caused almost a complete displacement of methanogenic activity by sulfate-reducing activity. The removal efficiencies in the IAAB system for COD, sulfate, and produced sulfide were 90%, 60%, and 99%, respectively. By the end of the IAAB system operation, electron flow was mainly directed to sulfidogenic activity, representing 91%. This study demonstrates that a two-step anaerobic/aerobic biological system operating at a high organic loading rate (OLR) can be used for sulfate and organic matter removal from sulfate-rich wastewaters.

Keywords: sulfate-reduction, sulfide-oxidation, percentage of electron equivalents, integrated bioreactors, microbial competition.

Resumen

En este estudio se evaluó el comportamiento de un sistema biológico integrado anaerobio/aerobio (IAAB) para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de sulfatos, para el potencial tratamiento de drenajes ácidos de mina (DAM). Inicialmente un inóculo anaerobio fue adaptado a condiciones sulfato-reductoras y uno aerobio fue activado en una columna de vidrio con sacarosa. Una vez que la activación de los inóculos concluyó, el sistema IAAB, compuesto de un reactor anaerobio sulfato-reductor (ASRr) y un reactor aerobio sulfoxidante (ASOr), fue integrado. El sistema IAAB operó con una solución sintética, con variaciones en la carga orgánica (2-4 g COD/L•d) y sulfatos (0.4-5.97 g SO₄²⁻/L•d) volumétrica y la relación DQO/SO₄²⁻ (5-0.67). Durante los 43 días de adaptación del ASRr, la relación de 1 g DQO/g SO₄²⁻ permitió un desplazamiento casi completo de la actividad metanogénica. Las eficiencias de remoción de DQO, sulfato, y sulfuro producido en el sistema IAAB fueron 90%, 60% y 99%, respectivamente. Hacia el final de la operación del sistema IAAB, el flujo de electrones fue principalmente hacia actividad sulfidogénica, representando el 91% de la actividad metabólica. Este estudio demostró que un sistema biológico de dos etapas operando a altas cargas orgánicas puede ser utilizado para la remoción de sulfato y materia orgánica.

Palabras clave: sulfato-reducción, sulfoxidación, porcentaje de electrones equivalentes, biorreactores integrados, competencia microbiana.

* Corresponding author. E-mail: onofre.monge@uni son.mx
Tel. 662-433-04-90
<https://doi.org/10.24275/rmiq/IA2332>
ISSN:1665-2738, issn-e: 2395-8472

Effect of carbon source and metal toxicity for potential acid mine drainage (AMD) treatment with an anaerobic sludge using sulfate-reduction

C. D. Loreto, O. Monge, A. R. Martin, V. Ochoa-Herrera ,
R. Sierra-Alvarez  and F. J. Almendariz

ABSTRACT

This study compares sulfate-reduction performance in an anaerobic sludge with different carbon sources (ethanol, acetate, and glucose). Also, the toxic effect of copper was evaluated to assess its feasibility for possible acid mine drainage (AMD) treatment. Serological bottles with 1.5 g VSS/L and 150 mL of basal medium (0.67 g COD/g SO_4^{2-} at a 7–8 pH) were used to determine the percentage of electron equivalents, maximum specific methanogenic (SMA), and sulfide generation activities (SGA). The copper effect was evaluated in a previously activated sludge in batch bioassays containing different concentrations of copper (0–50 mg/L, 3 gVSS/L, and 150 mL of basal medium (0.67 g COD/g SO_4^{2-}). Carbon source bioassays with glucose obtained the best results in terms of the SGA ($1.73 \pm 0.34 \text{ mg S}^{2-}/\text{g VSS}\cdot\text{d}$) and SMA ($10.41 \text{ mg COD-CH}_4/\text{g VSS}\cdot\text{d}$). The electron flow in the presence of glucose also indicated that $21.29 \pm 5.2\%$ of the metabolic activity of the sludge was directed towards sulfidogenesis. Copper toxicity bioassays indicated that a considerable decline in metabolic activity occurs above 10 mg/L. The 20%IC, 50%IC, and 80%IC were 4.5, 14.94, and 35.31 mg Cu/L. Compared to the other carbon sources tested, glucose proved to be a suitable electron donor since it favors sulfidogenesis. Finally, copper concentrations above 15 mg/L inhibited metabolic activity in the toxicity bioassays.

Key words | electron donors, heavy metals, inhibitory concentration, microbial competition, percentage of electron equivalents, sulfate-reduction

HIGHLIGHTS

- The influence of organic matter degradation and copper toxicity was assessed.
- Potential application of sulfate reducing bacteria (SRB) for acid mine drainage treatment was evaluated.
- The highest sulfidogenic activity was observed with glucose as carbon source.
- High copper concentration impacts sulfate removal and sulfide production.

C. D. Loreto
O. Monge
A. R. Martin
F. J. Almendariz (corresponding author)
Department of Chemical Engineering and Metallurgy,
University of Sonora,
Rosales and Luis Encinas Blvd., Hermosillo,
Sonora,
Mexico
E-mail: javier.almendariz@unison.mx

V. Ochoa-Herrera 
Colegio de Ciencias e Ingenierías, Instituto
Biosfera,
Universidad San Francisco de Quito,
Diego Robleas y Vía Interoceánica,
Quito,
Ecuador
and
Department of Environmental Sciences and
Engineering, Gillings School of Public Health,
University of North Carolina,
Chapel Hill,
North Carolina,
USA

R. Sierra-Alvarez 
Department of Chemical and Environmental
Engineering,
University of Arizona,
210011,
Tucson, Arizona,
USA

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY-NC-ND 4.0), which permits copying and redistribution for non-commercial purposes with no derivatives, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

doi: 10.2166/wst.2021.163