

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUELOS AFECTADOS POR PRESAS DE JALES EN EL DISTRITO MINERO DE GUANAJUATO

Sofía Ilene Martínez-Taylor (1), Berenice Noriega-Luna (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: sofia_2255@hotmail.com

2 Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: berenice.noriega@ugto.mx

Resumen

Se realizó la caracterización de cuatro horizontes de suelo de un perfil representativo de la zona conocida como *Los Mexicanos* en el municipio de Guanajuato en la localidad de Santa Rosa. Esta zona es actualmente un depósito de residuos mineros (jales) y representa un riesgo ambiental para la población y los ecosistemas locales. **METODOLOGÍA:** Se colectaron muestras compuestas superficiales en un perfil de 1 metro de profundidad. Se determinaron evidencias morfológicas de acidificación en campo como color, textura al tacto y contenido de carbonatos. Características fisicoquímicas como pH, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica fueron determinadas en laboratorio. El contenido total de elementos potencialmente tóxicos como cobre, zinc, plomo y hierro se obtuvo por espectroscopia de absorción atómica. **RESULTADOS:** El análisis por SEM-EDX mostró que los horizontes están constituidos mayoritariamente por hierro, aluminio, potasio, silicio, carbono, oxígeno y, en menor proporción titanio; además muestran valores de pH ácidos, bajo porcentaje de humedad y conductividad eléctrica baja. Las concentraciones de Pb, Cu, Zn y Fe son significativas pero no anómalas. **CONCLUSIÓN:** Las características fisicoquímicas de pH ácido y baja conductividad eléctrica favorecen la disponibilidad y movilidad de estos metales que presentan riesgo de toxicidad para la biota.

Abstract

The characterization of four soil horizons from a representative profile in the area known as *Los Mexicanos* in the city of Guanajuato in the town of Santa Rosa profile was performed. This area is currently a deposit of mining waste (tailings) and represents an environmental hazard to the population and local ecosystems. **METHODOLOGY:** surface composite samples were collected from a 1 meter depth profile. Morphological evidence of acidification field such as color, texture to the touch and carbonate content were determined. Physicochemical characteristics such as pH, electrical conductivity, humidity and organic matter content were determined in the laboratory. The total content of potentially toxic elements such as copper, zinc, lead and iron was obtained by atomic absorption spectroscopy. **RESULTS:** The SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray spectroscopy) analysis showed that the horizons are composed mainly of iron, aluminum, potassium, silicon, carbon, oxygen and titanium in a less proportion; also shows acidic pH values, low humidity and lower electrical conductivity. The concentrations of Pb, Cu, Zn and Fe are significant but not abnormal. **CONCLUSION:** The physicochemical characteristics of acid pH and low electrical conductivity promote the availability and mobility of these metals with a risk of toxicity for biota.

Palabras Clave

Elementos potencialmente tóxicos; Perfil representativo, Horizontes; Jales; Riesgo ambiental

INTRODUCCIÓN

La actividad minera en nuestro país es una de las actividades económicas de mayor tradición que contribuye actualmente con el 4.9% del PIB nacional [1], siendo el Distrito de Guanajuato uno de los principales productores. Particularmente, la *Veta de Santa Rosa* es uno de los tres sistemas de vetas más productivas dentro del Distrito Minero de Guanajuato. En su cercanía se encuentran los ríos *Santa Rosa*, *Los Mexicanos*, *Jolula* y *Cata*. En este Distrito los subproductos minerales metálicos industriales más comunes son zinc, plomo y cobre [2] sin embargo, el material de desecho es el más abundante y se deposita en zonas cercanas al sitio donde es procesado provocando contaminación del suelo y de los cauces de ríos y arroyos.

Particularmente, se han llevado a cabo estudios encaminados a la identificación de depósitos mineros conocidos como presas de jales con el fin de identificar el potencial de riesgo ambiental en este distrito, en el cual la problemática de los residuos es muy compleja debido a las características geológicas y a la historia de extracción. Se han identificado 31 depósitos de jales, los cuales ocupan un área de 81.9 hectáreas y representan 40.3 millones de toneladas [3].

Asimismo, se han realizado estudios sobre la dispersión de elementos potencialmente tóxicos (EPT) sin embargo, la información que se tiene para evaluar el riesgo ambiental es limitada. Por ejemplo, estudios sobre restauración de depósitos de jales en Valenciana, localidad dentro del municipio de Guanajuato, describen pocas muestras que son poco representativas de la variabilidad espacial que hay en este sitio [4]. Por otro lado, estudios recientes muestran que depósitos de residuos mineros no representan un riesgo ambiental ya que metales como hierro, manganeso, zinc, plomo y cromo no son lixiviados en porcentajes mayores a 0.4%, sin embargo no se existe evidencia del número de muestras analizadas ni los sitios de colecta, por lo tanto resulta difícil juzgar su representatividad [5].

No obstante, los jales están expuestos al intemperismo y los minerales que contienen pueden ser afectados por diferentes procesos, como reacciones de óxido-reducción, de ácido-

base, hidrólisis, adsorción-desorción, etc., que pueden modificar la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de los metales contenidos, derivando en su liberación y subsecuente acumulación e infiltración. Además, la movilidad de los metales es afectada por diversos parámetros fisicoquímicos, especialmente por el pH, salinidad, textura, capacidad de intercambio catiónico y composición mineralógica.

En este sentido, el objetivo de este trabajo es caracterizar fisicoquímicamente el Terrero San Ignacio, ubicado en la zona de la Veta de la localidad de Santa Rosa dentro del Municipio de Guanajuato. Este sitio es actualmente un depósito de residuos mineros que en su cercanía están presentes cauces de ríos lo que hace pensar que es un sitio con problemas ambientales y posible movilidad de EPT. En este trabajo se estudiarán los principales factores relacionados con la movilidad de metales tales como pH, conductividad eléctrica, humedad y contenido de materia orgánica. Además se determinarán las concentraciones totales de Cu, Pb, Zn y Fe. La caracterización de este sitio permitirá tener un antecedente previo del potencial de riesgo ambiental que existe en esta zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Levantamiento de muestras. El muestreo se realizó en la proximidad de una escorrentía de agua, en un perfil de un metro de profundidad. En cada horizonte se determinó su grosor, color empleando las tablas estándar de Munsell, se estimó textura al tacto y contenido de carbonatos de acuerdo a la metodología propuesta por (*Siebe et al*). El contenido de carbonatos se estimó observando la efervescencia de la muestra al adicionar HCl al 10%.

Métodos de laboratorio. En los cuatro horizontes se determinaron los principales factores relacionados con la movilidad de metales: pH y conductividad eléctrica en agua medidos en extractos de pastas de saturación con el electrodo *HACH 5014* calibrando con estándares comerciales de pH 4, 7 y 10 y con la celda *HACH 5070* calibrada con solución estándar comercial de KCl 0.01N con conductividad de 1,413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C respectivamente, en el equipo *HACH sensION MM374*; humedad por el método

gravimétrico-secado en estufa (*Robledo-Santoyo 1997*); contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black modificado [6] calibrando con estándares de dextrosa y utilizando el espectrofotómetro *HACH DR 3900*.

La composición elemental se determinó mediante microscopía electrónica de barrido con análisis por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX). Los análisis se realizaron en el Laboratorio Nacional de Caracterización de Propiedades Físicoquímicas y Estructura Molecular de la Universidad de Guanajuato.

Para determinar la concentración de metales Cu, Zn, Pb y Fe, se siguió el método de la USEPA 3052 [7]. Las muestras se homogenizaron y tamizaron hasta obtener una granulometría inferior a la malla 200. Posteriormente, las muestras fueron digeridas en agua regia (proporción en volumen de 75% HCl concentrado y 25% HNO₃ concentrado) a 120°C por 2 horas en la incubadora de baño seco *Fisher Scientific Isotemp*. Posteriormente, la solución resultante se aforó a 25 ml con agua desionizada y se llevó a cabo la cuantificación de metales por espectrofotometría de absorción atómica en llama usando un equipo *Perkin Elmer AAnalyst 200* con lámparas de cátodo hueco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características físicas determinadas en campo se muestran en la Tabla 1. El horizonte 0 está conformado principalmente por hojarasca y no se caracterizó en el laboratorio. En los horizontes 2 y 3, las características de textura y pedregosidad no fueron determinadas debido a la alteración antropogénica que presentaban. Los colores rojizo y amarillento de los horizontes 1 y 3 hacen evidente la presencia de óxidos de hierro. De manera general para los cuatro horizontes en estudio se observa que la densidad aparente es baja, la estabilidad de los agregados es mayoritariamente alta y el contenido de carbonatos es nulo.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica. Como se puede observar se registraron valores de pH entre 3.6 y 4.4 lo que hace evidente que el suelo del *Terrero San Ignacio* es fuertemente ácido. La acidificación

del suelo es resultado de la presencia de sulfuros y ausencia de carbonatos. Además, en todos los horizontes la conductividad eléctrica es baja por lo tanto la complejación de metales no se favorece [8]. Finalmente, el contenido de materia orgánica en el primero horizonte es alto, debido a la cantidad de raíces y organismos que habitan cerca de la superficie. Sin embargo, a medida que se desciende a través de los horizontes, el contenido de materia orgánica disminuye.

Por otro lado, el análisis elemental por la técnica SEM-EDX muestra que los metales Fe y Al, se encuentran presentes en los 4 horizontes (Imagen 1, 2, 3 y 4). No obstante, en el difractograma del Horizonte 3 (imagen 3), se hace evidente la presencia de azufre (S) lo que explica la acidez que presenta este terrero. ETP característicos de este tipo de sitios, no fue posible identificarlos por SEM-EDX, por lo tanto concentraciones totales de Cu, Zn y Pb se determinaron por absorción atómica. Los resultados de las determinaciones totales de metales en las muestras (Tabla 3) indican que el sitio en estudio contiene ETP. En los cuatro horizontes, la concentración de Fe es mayor, esto se asocia con el alto contenido de pirita, FeS₂, en el sitio. Por otra parte, las concentraciones de Cu y Zn son significativas lo que podría desencadenar en un riesgo potencial para la biota del suelo. Finalmente, la concentración de Pb es menor respecto a las concentraciones de Cu y Zn.

CONCLUSIONES

En los cuatro horizontes estudiados del perfil representativo del Terrero San Ignacio se encontró que Fe, Al, K, Si, C y O, son los principales componentes elementales de los minerales presentes del sitio. Además se observó que los EPT Zn, Cu y Pb se encuentran en concentraciones significativas, siendo el Horizonte 1 el más afectado. Por otro lado, los valores de pH ácido indican que existe mayor disponibilidad de iones metálicos en la fase acuosa y la baja conductividad eléctrica disminuye la capacidad de los metales para formar complejos por lo tanto, los metales son susceptibles a ser drenados.

Tabla 1: Características físicas de los horizontes de un perfil representativo del Terrero San Ignacio.

HORIZONTE	Características Físicas							
	Límite (cm)	Textura	% Pedregosidad	Color	Densidad aparente	Densidad de raíces (dm ² -)	Contenido de CO ₃ ²⁻	Estabilidad de agregados
0	0-0.5	---	---	---	---	---	---	---
1	0.5-10	Franca*	50%	Café-rojizo oscuro**	Baja	5-10	NO	Alta
2	10-18	NA	NA	Gris-azul oscuro**	Baja	0-2	NO	Alta
3	18-37	NA	NA	Café-amarillento**	Baja	5-10	NO	Media
4	37-90	Arcillo-arenosa*	70%	Café fuerte**	Baja	10-20	NO	Alta

* Designación de acuerdo al procedimiento del Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo, 1996

** Clasificación de colores de acuerdo a la Tabla de Color de Suelo de Munsell

(NA) No Aplica

Tabla 2: Caracterización fisicoquímica de los horizontes de un perfil representativo del Terrero San Ignacio.

HORIZONTE	Caracterización Fisicoquímica			
	pH	Conductividad (μS/cm)	% Humedad	% Materia orgánica
1	4.38	0.285	0.4938	59.442
2	3.65	0.223	0.2089	12.109
3	4.13	0.367	1.2629	7.854
4	3.88	0.280	1.9818	10.219

Tabla 3: Concentración de Cu, Zn, Pb y Fe en los horizontes de un perfil representativo del Terrero San Ignacio.

HORIZONTES	Concentración de elementos (mg/Kg)			
	Cu	Zn	Pb	Fe
1	116.37	98.62	53.50	9,045.86
2	12.76	101.13	18.90	257.56
3	133.49	9.43	28.77	7,865.56
4	90.02	110.57	18.10	7,566.05

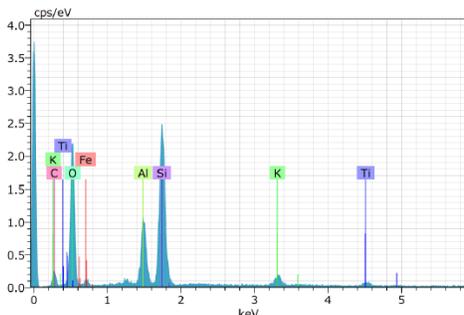


IMAGEN 1: Espectro de difracción de Rayos X horizonte 1.

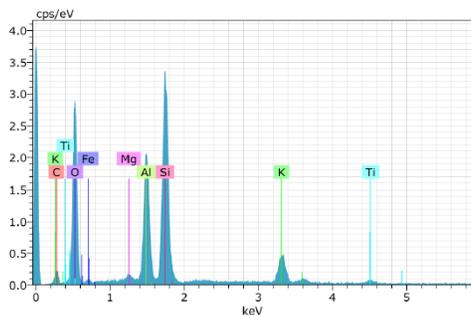


IMAGEN 2: Espectro de difracción de Rayos X horizonte 2.

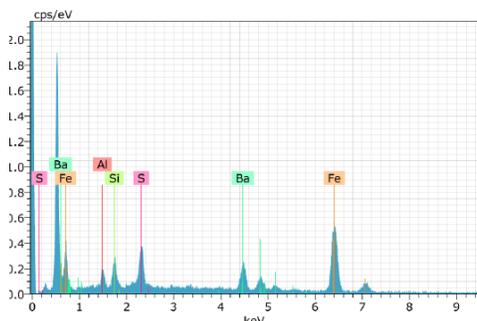


IMAGEN 3: Espectro de difracción de Rayos X horizonte 3.

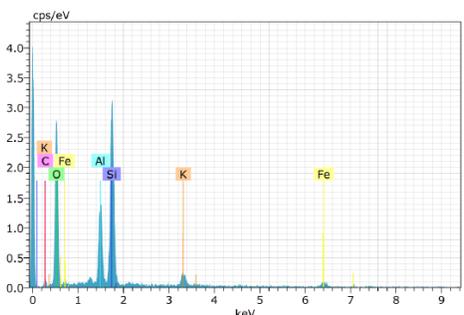


IMAGEN 4: Espectro de difracción de Rayos X horizonte 4.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad de Guanajuato por el apoyo brindado.

Sofía Ilene Martínez Taylor agradece a la DAIP (Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato) por la beca otorgada.

Se agradece el apoyo al Dr. Ramos Arroyo en el levantamiento de muestras.

REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Economía. Comunidad de negocios, Minería. Recuperado el 1 de julio de 2015, de <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/mineria>
- [2] Secretaría de Seguridad Pública. Atlas de Riesgo, Fenómeno Geológico. Recuperado el 1 de julio de 2015, de http://proteccioncivil.guanajuato.gob.mx/atlas/geologico/marco_conceptual.php#.
- [3] Ramos-Arroyo, Y. R., Siebe-Grabach, C. D. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23 (1), 54-74.
- [4] García-Meza J.V., 2003, Caracterización fisicoquímica del desecho minero (jal) La Valenciana, Guanajuato, previa y posterior a bioensayos diagnósticos enfocados a la generación de propuestas para su remediación: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 154 p.
- [5] Medel-Reyes, A., Ramos-Gomez, S., Avelar- González, F. J., Mora-Tovar, L. A. G., Rodríguez- Valadez, F. (2008). Caracterización de Jales Mineros y evaluación de su peligrosidad con base en su potencial de lixiviación. *Conciencia Tecnológica*, 35, 32-35.
- [6] Ramos-Arroyo, Y. R., Hansen, A. M., Siebe-Grabach, C. (2006). Simulación de los procesos geoquímicos en jales mineros. *Ingeniería Hidráulica en México*, 21(3), 87-100.
- [7] USEPA 2009. Method 3052 Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.
- [8] Ramos-Gómez, M., Avelar, J., Medel-Reyes, A., Yamamoto, L., Godinez, L., Ramírez, M., Guerra, R., Rodríguez, F. (2012). Movilidad de metales en jales procedentes del Distrito Minero de Guanajuato, México. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 28(1), 49-59.