



CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE EFLUENTES DE ESCOMBRERAS EN EL GRUPO MINERO LA ZARZA-PERRUNA

De la Torre, María Luisa^a, Grande, Jose Antonio^a, Paz, Daniela^a, Valente, Teresa^b, Santisteban María^a, Barrio-Parra, Fernando^c, Izquierdo, Miguel^c

^a Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva. Campus La Rábida. Ctra. Palos de la Frontera s/n. 21819. Palos de la Frontera. Huelva. Email: grangil@uhu.es

^b Institute of Earth Sciences, Pole of the University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

^c Laboratorio de Investigación e Ingeniería Geoquímica Ambiental (LI2GA). Universidad politécnica de Madrid. c/ Alenza 4. 28003. Madrid.

RESUMEN

En este trabajo se caracteriza el impacto generado por el proceso A.M.D sobre la red fluvial en el entorno del Grupo Minero La Zarza-Perrunal, mediante la aplicación del modelo de afección propuesto por Grande (2011) y el índice I.C.A.M.D formulado por Grande et al. (2016), obteniéndose un riesgo de contaminación grave, con unos elevadísimos aportes contaminantes de sulfatos, hierro, aluminio y

cobre, por lo que, teniendo en cuenta el precio del Cu, se sugiere una rápida intervención para la transformación de los pasivos ambientales en activos mineros.

Palabras clave: Drenaje ácido de mina, modelo de afección, Faja Pirítica Ibérica, metales pesados, ICAMD.

ABSTRACT

In this work, the impact generated by the A.M.D process on the fluvial network in the surroundings of the La Zarza-Perrunal Mining Group has been characterized by the application of the model of affection proposed by Grande (2011) and the index I.C.A.M.D formulated by Grande et al (2016), obtaining a risk of severe contamination, with high pollutant inputs of sulphates, iron, aluminum and copper. Taking

into account the price of copper, it is suggested a rapid intervention for the transformation of environmental liabilities into mining assets

Key words: Acid mine drainage, affection model, Iberian Piryte Belt, heavy metals.

1. INTRODUCCIÓN

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) (Suroeste de la Península Ibérica), es una de las mayores cuencas metalogenéticas de sulfuros metálicos del mundo (Tornos, 2008). Por esta razón, no solo hoy, sino desde hace más de 4000 años la FPI ha sido una región con una gran actividad minera. Esta intensa actividad, con cientos de explotaciones, ha generado una enorme cantidad de residuos mineros ubicados por todo el territorio, siendo éstos la principal causa de contaminación de los ríos que discurren por ella. El impacto que se origina es debido a la exposición de estos residuos a las condiciones atmosféricas, que genera un lixiviado ácido conocido como Drenaje Ácido de Mina o A.M.D, siglas de la nomenclatura anglosajona "Acid Mine Drainage". Las aguas afectadas por procesos A.M.D, se caracterizan químicamente por su alto contenido en metales y sulfatos, altos valores de conductividad eléctrica, bajos valores de pH, que indican alto grado de acidez de las aguas, y la posterior aparición de precipitados tipo yellow-boy y otros.

La Faja Pirítica Ibérica se encuentra limitada por dos grandes cursos fluviales, el Guadiana al Oeste y el Guadalquivir al Este. Entre ambos, además de un pequeño río, el Piedras, se encuentran las cuencas del Tinto y del Odiel. En este marco hidrológico se encuentran casi un centenar de explotaciones mineras que contaminan de diferente forma los cauces de los ríos Odiel y Tinto, principales receptores de A.M.D, y de menor orden el Guadiana a través de Chanza y el Guadalquivir mediante el Guadiamar (Pérez-Ostale, 2014).

Las minas de La Zarza y El Perrunal están situadas en el norte del municipio de Calañas (Norte de la Provincia de Huelva). Ambas minas tienen asociados dos núcleos de población que llevan el mismo nombre (Figura 1).

En el presente trabajo se caracteriza el impacto generado por el proceso de A.M.D sobre la red fluvial en el entorno del Grupo Minero La Zarza-Perrunal (Figura 1). Los efluentes de la actividad minera, de este grupo minero, vierten sus lixiviados contaminado a las subcuencas del Olivargas y Oraque, ambas pertenecientes a la cuenca del río Odiel (Figura 2).

SESIÓN 2. HIDROGEOQUÍMICA Y GEOQUÍMICA

Caracterización hidrogeoquímica de efluentes de escombreras en el grupo minero La Zarza-Perrunal

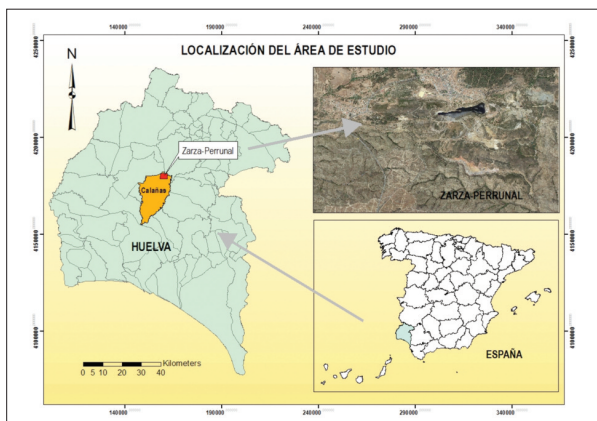


Figura 1: Localización del Grupo Minero de La Zarza-Perrunal (Elaboración propia).

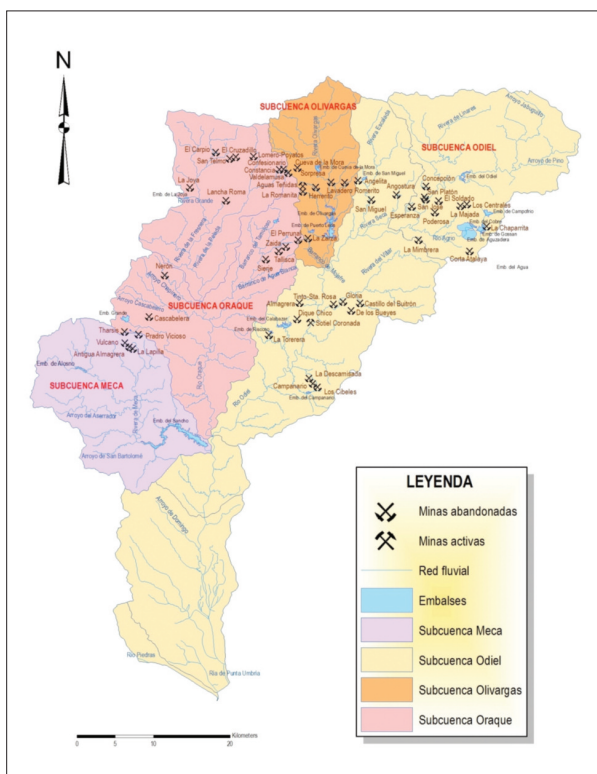


Figura 2: Red hidrográfica y explotaciones mineras de la cuenca del río Odiel. (Modificado de Pérez-Ostale, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

En primer lugar se elaboró una cartografía, utilizándose para ello la herramienta ArcMap del software ArcGIS 10.3. Desktop, ESRI. Sobre la base cartográfica se elaboró un mapa base a escala 1:12.500 al que se superponen cada una de las capas de referencia.

A fin de evaluar las características hidroquímicas de los efluentes ácidos originados por el grupo minero en estudio, se tomaron 4 muestras de los dos cauces principales (cauce de Poniente que

vierte al Oraque, muestras 1 y 2, y cauce de Levante que vierte al Olivargas, muestras 3 y 4), a la salida de las escombreras y aguas abajo cuando el proceso de A.M.D está más evolucionado (Figura 3). El muestreo se llevó a cabo el día 31 de mayo del 2016. Los puntos de muestreo fueron georreferenciados mediante un GPS marca GARMIN GPS MAP 76 CSx. En cada punto se tomó una muestra de agua en dos recipientes de polietileno esterilizados. A una de las muestras se le añadió ácido nítrico al 1% de concentración, para mantener el pH por debajo de 2 y evitar la precipitación de los metales. La otra muestra se mantuvo sin acidular para el posterior análisis de sulfatos. En campo se midieron los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (TDS) y temperatura (T) mediante el uso de un equipo multiparamétrico portátil Crison MM40, además, se midió el potencial redox (Eh) con un medidor ORPTestr 10. Las muestras se colocaron en un refrigerador portátil a 4 °C, para su transporte al laboratorio. Para la determinación de la concentración de sulfatos se empleó un fotómetro de la casa comercial Macherey-Nagel (Fotómetro FP-11). El equipo empleado para la realización de los análisis de los metales fue un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer AAS (AAAnalyst modelo 800) equipado con un atomizador de llama de aire-acetileno y con un horno de grafito.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de todos los parámetros medidos en las muestra de agua, se analizaron mediante el modelo de afección propuesto por Grande (2011) y el índice I.C.A.M.D formulado por Grande et al. (2016), con los que se pretende dar a conocer una forma rápida y fácil para determinar el grado de contaminación de un cauce minero que recibe aportes de A.M.D. El modelo de Grande (2011) propone una fórmula sencilla de ponderación, que permite diagnosticar el impacto generado por cada contaminante en base al número de veces que éste supera el límite establecido por la Directiva 98/83/CE (tabla 1), la cual fija los estándares de calidad para las aguas de consumo humano que deben cumplir los países pertenecientes a la Unión Europea.

Para observar de forma más clara el grado de superación de los valores límites, se representan mediante diagramas radiales los

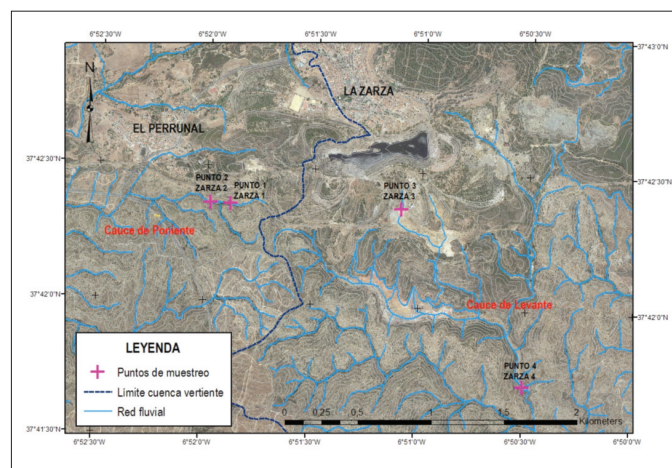
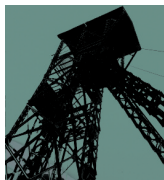


Figura 3: Localización de los puntos de muestreo de La Zarza-Perrunal.



XII CONGRESO NACIONAL Y XI IBÉRICO DE GEOQUÍMICA

Investigar los recursos cuidando el ambiente

TABLA 1: VALORES MÁXIMO ADMISIBLES PARA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

DIRECTIVA 98/83/CE	
Parámetros	Límite legal
Antimonio (Sb)	0,005 mg/L
Arsénico (As)	0,01 mg/L
Aluminio (Al)	0,2 mg/L
Cadmio (Cd)	0,005 mg/L
Cobre (Cu)	2 mg/L
Hierro(Fe)	0,2 mg/L
Manganeso (Mn)	0,05 mg/L
Níquel (Ni)	0,02 mg/L
Plomo (Pb)	0,01 mg/L
Conductividad	2500 μ S/cm a 20°C
Sulfatos	250 ppm

TABLA 2: VALORES PARAMÉTRICOS Y PONDERADOS PARA LA CONTAMINACIÓN, MODELO GRANDE (2011)

Contaminación	Valor paramétrico	Valor de ponderado
Nula	No detectado	0
Leve	Por debajo de límite legal	1
Moderada	Entre 1 y 2 veces el límite	2
Media	Entre 2 y 10 veces el límite	3
Alta	Entre 10 y 50 veces el límite	4
Extrema	Por encima de 50 veces el límite	5

valores ponderados (tabla 2) para cada contaminante en los distintos efluentes ácidos.

El índice I.C.A.M.D (Grande et al., 2016) es un algoritmo que permite cuantificar el riesgo de contaminación potencial asociado a la explotaciones mineras abandonadas a partir de un número reducido de variables fácilmente medibles. Este se ha definido como la capacidad de una mina para producir contaminación por A.M.D sobre la red fluvial (Grande, 2016). El valor obtenido recibe un código de color (tabla 3).

$$I.C.A.M.D = \frac{P_{mam} \times S_{em} \times V_{am} \times L_c}{P_{mac} \times S_{etc} \times V_{ac} \times L_{tca}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde las variables son:

En el numerador:

“Pmam” = Precipitación media anual sobre la mina en estudio, según datos disponibles de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) durante los últimos 30 años.

“Sem” = Superficie de escombreras presentes en la mina en estudio.

“Vam” = Valor de afección global en el efluente minero (Grande, 2011).

“Lc” = Longitud del cauce afectado desde la localización de la mina hasta el final del recorrido del cauce principal.

Y en el denominador:

TABLA 3: CÓDIGO DE COLOR PARA EL I.C.A.M.D.

I.C.A.M.D* 1000	Riesgo	Color
I.C.A.M.D < 0,1	Muy Bajo	□
I.C.A.M.D < 1	Bajo	□
I.C.A.M.D < 10	Moderado	□
I.C.A.M.D < 50	Medio	□
I.C.A.M.D < 100	Grave	□
I.C.A.M.D < 500	Muy Grave	□
I.C.A.M.D > 500	Extremo	□

“Pmac” = Precipitación media anual sobre la cuenca fluvial (valor medio de las estaciones meteorológicas presentes en esta).

“Setc” = Superficie total de escombreras presente en todo la cuenca.

“Vac” = Valor de afección global del cauce receptor aguas abajo de las explotaciones (Grande, 2011).

“Ltca” = Longitud total del curso fluvial afectado incluyendo los arroyos y el cauce principal.

Aplicando el modelo de afección, se obtiene unos diagramas radiales y mediante la interpretación de éstos se desprende que cinco de los parámetros presentan un grado de afección extremo Mn, As, Fe, Al, Cu, en el cauce de Poniente (Figura 4a) y Ni, Mn, Fe, Al y Cu en el cauce de Levante (Figura 4b).

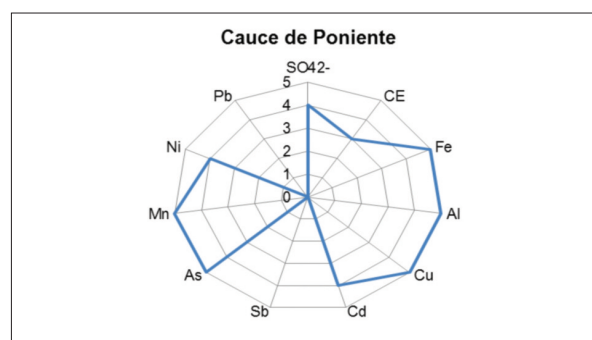


Figura 4a: Diagrama radial para el cauce de poniente o Barranco Fuente Perrunal.

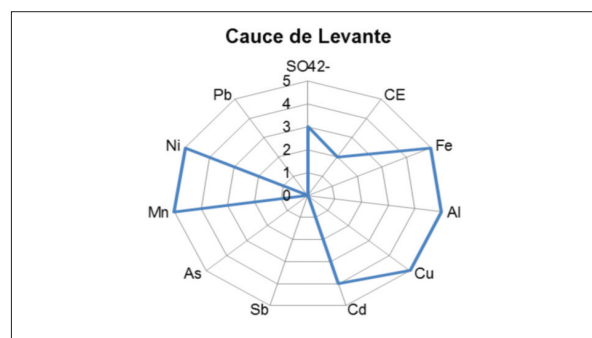


Figura 4b: Diagrama radial para el cauce de levante o Barranco de Mojafre.

SESIÓN 2. HIDROGEOQUÍMICA Y GEOQUÍMICA

Caracterización hidrogeoquímica de efluentes de escombreras en el grupo minero La Zarza-Perrunal

TABLA 4. DETERMINACIÓN DE I.C.A.M.D. EN EL GRUPO MINERO LA ZARZA-PERRUNAL

Subcuenca Cauce	Oraque Poniente	Olivargas Levante
Pmam=Pmac (mm)		634
Sem (ha)	32	61,29
Vam	4	3
Lc (m)	22595	6737
Setc (ha)	364	103
Vac	3	2
Ltca (m)	158210	41277
I.C.A.M.D	0,016	0,188
I.C.A.M.D*1000	16	188

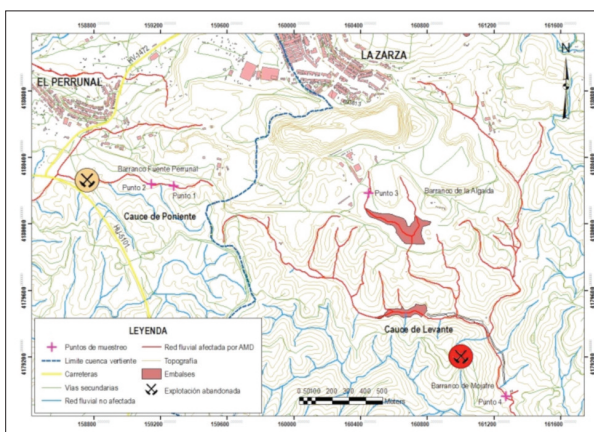


Figura 5. Riesgo potencial de los cauces principales del Grupo Minero la Zarza-Perrunal en la red fluvial.

En la tabla 4 se muestra la determinación de I.C.A.M.D para cada una de las cuencas afectadas.

Tras la aplicación del índice I.C.A.M.D se puede obtener la siguiente figura (Figura 5) en la que se muestra la red fluvial afectada por proceso de A.M.D de color rojo.

Se llevó a cabo también un cálculo aproximado de los aportes contaminantes, mostrándose el resultado en la tabla 5.

Se observa que el cauce de levante o barranco de Mojafre tiene mayor contenido de sulfatos, manganeso, níquel y no descarga arsénico a la red fluvial, mientras que el cauce de poniente o barranco Fuente Perrunal vierte aproximadamente 171 Kg de As al año, además de un mayor contenido de hierro y cobre. No obstante, la carga de metales como el alumi-

nio y el cadmio son similares en ambos cauces y no existe descarga de plomo.

4. CONCLUSIONES

Se ha implementado el modelo de Grande (2011) para facilitar la comprensión y visualización del grado de afección por A.M.D de la red fluvial afectada en el área de estudio, aplicado a los lixiviados procedentes de los dos cauces principales del Grupo Minero de la Zarza-Perrunal. En ambos cauces se superaron prácticamente todos los límites impuestos por la legislación. Se obtuvo que el riesgo de contaminación del cauce de poniente en la cuenca del Oraque es medio, mientras que cauce de levante produce un riesgo muy grave en la cuenca del Olivargas. En cuanto al aporte de contaminantes se observó que el entorno minero de La Zarza-Perrunal descarga al año casi 1.500 toneladas de sulfatos, más de 500 toneladas de hierro, más de 100 toneladas de aluminio y aproximadamente 103 toneladas de cobre. Si tenemos en cuenta que el precio por tonelada métrica de Cu ronda los 4.200 euros se están perdiendo más de 400.000 euros al año por los efluentes del grupo minero en estudio, al tiempo que se está produciendo una severa contaminación del medio hídrico. Todo ello sugiere una rápida intervención para la transformación de estos pasivos ambientales en activos económicos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Grande, J.A. (2011) Impact of AMD processes on the public water supply: Hydrochemical variations and application of a classification model to a river in the Iberian Pyritic Belt. S.W. Spain. *Hydrology Research*, 42(6), 472-478.
- Grande, J.A., Pérez-Ostale, E., Valente, T., de la Torre, M.L., (2016). A simple algorithm to approach the pollution level in a river network affected by Acid Mine Drainage. *GESRIM*. Marrakech 2016.
- Pérez-Ostale (2014). Caracterización ambiental de estructuras mineras en la Faja Pirítica Ibérica como soporte metodológico de gestión territorial. PhD Thesis, University of Huelva.
- Tornos, F. (2008) La geología y metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica. Macla

TABLA 5 - APORTES ANUALES DE METALES Y SULFATOS DEL GRUPO MINERO LA ZARZA-PERRUNAL

	SO ₄ ²⁻ (Kg)	Fe (Kg)	Al (Kg)	Cu (Kg)	Cd (Kg)	As (Kg)	Mn (Kg)	Ni (Kg)
Cauce de Poniente	575257	379846	65625	54170	32	171	10780	98
Cauce de Levante	899806	124149	66967	49314	32		34665	483