

Evaluación de movilidad de elementos en mineralizaciones del Cinturón Volcánico del SE de España

/ MARIA GRACIA BAGUR GONZÁLEZ (1,2*) CARMEN ESTEPA MOLINA (3), FRANCISCO MARTIN PEINADO (4), IÑAKI ESTEBAN ARISPE (3), SALVADOR MORALES RUANO (2,3)

(1) Dpto. Química Analítica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071, Granada (España)

(2) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-UGR. Avda. de la Palmeras, 4, 18100, Armilla -Granada (España).

(3) Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071, Granada (España)

(4) Dpto. Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071, Granada (España)

INTRODUCCIÓN

Asociado al Cinturón volcánico del sureste de España aparecen un conjunto de mineralizaciones de metales base y metales nobles, que se han venido explotando, en diferente medida, desde la antigüedad, aunque variando su actividad en el tiempo y en el tipo de sustancias que se explotaron. De forma resumida, se trata de un conjunto de mineralizaciones hidrotermales o epitermales, asociadas a las cuales se encuentra, en diferentes depósitos, un elenco muy variado de metales (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, etc.), aunque no todos se han explotado a la vez ni lo han sido en las mismas épocas (por ejemplo, Morales 1994).

La explotación de recursos minerales en zonas de minería metálica implica la generación de diferentes tipos de productos de desecho (roca estéril, roca de cobertera de las zonas mineralizadas, restos del tratamiento de los minerales para su beneficio en las plantas de tratamiento mineral, etc.). Estos productos de desecho se vierten al medio en escombreras, vertederos de estériles, etc., zonas en las cuales es fácil que queden restos de los metales que se explotan o de los metales que acompañan a las mineralizaciones explotadas. Con el paso del tiempo, y especialmente en zonas de minería antigua y/o abandonada, es fácil que dichos metales, habitualmente en forma de sulfuros, interactúen con el agua meteórica, el oxígeno atmosférico, etc., de forma que se pueden oxidar y pasan al medio (agua, suelo, aire, etc.) y, finalmente pueden llegar a incorporarse a la cadena trófica y a los seres vivos (plantas silvestres, cultivos, fauna, etc.). En casos más avanzados, éstos pueden llegar incluso a los seres humanos, por vía del consumo de productos de la zona (verduras, carne, pescado, agua, etc.) (Sanchez García et al., 2010).

En este trabajo se han tomado muestras de suelo de una de estas zonas mineras abandonadas (Rodalquilar, Almería) con objeto de estudiar la movilidad de algunos elementos representativos.

METODOLOGIA

El estudio ha consistido en la toma de muestras de suelo en una zona de minería abandonada (Rodalquilar, Almería), una zona minera donde se han llevado a cabo numerosas explotaciones mineras (mayoritariamente desde finales del siglo XIX hasta final de los años 60) para la obtención y beneficio de Au, Ag o Pb principalmente, y donde se han descrito numerosos minerales portadores de metal(oid)es como Pb, Zn, As, Cu, etc. (Fernandez & Gröbner, 2005).

Las muestras tomadas fueron tamizadas para separar las fracciones mayor (grava) y menor (tierra fina) de 2 mm, sobre la cual: (1) se procedió a la determinación de la concentración de As, Cu, Mn, Pb y Zn mediante un analizador portátil de fluorescencia de rayos X, de acuerdo con el procedimiento optimizado por Figueroa et al., (2011); (2) se preparó una pasta saturada mediante la adición de agua (ósmosis inversa). Trascorridas 24 horas, se procedió a la obtención del extracto saturado, sobre el cual se determinó el contenido en los elementos anteriormente indicados mediante ICP-MS. Otros parámetros analíticos estudiados fueron pH, conductividad y salinidad de las muestras. Paralelamente, mediante un análisis exploratorio de datos (AED) se procedió a la selección de muestras representativas para el estudio de su mineralogía mediante difracción de rayos X.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un estudio quimiométrico (norma-

lización mediante transformación de Box-Cox (potencias), análisis multivariado mediante técnicas de reconocimiento de pautas no supervisadas - análisis de conglomerados jerárquicos, (ACJ), análisis factorial (AF)- con objeto de estudiar el comportamiento de los elementos analizados.

La fracción móvil de metales y metaloides se ha determinado como el porcentaje de elemento solubilizado con respecto a su contenido en la muestra analizada. Así establecido, se puede considerar que este porcentaje aporta información sobre la movilidad de los elementos estudiados en condiciones físico-químicas adecuadas.

DISCUSION Y RESULTADOS

Como criterio de movilidad se ha considerado que un elemento es móvil cuando su porcentaje de solubilización con respecto al contenido total en suelo es superior al 0.1%.

Se ha podido observar que el 56.32% de las muestras estudiadas presentan valores superiores a 0.1% para alguno de los elementos estudiados, y que cuantitativamente el orden de movilidad es Zn > Cu > Mn >> As >>> Pb (que no se moviliza).

Tabla 1. Movilidad estimada en las muestras analizadas (expresada en porcentaje).

	Zn	Mn	Cu	As
%muestras	51.3	31.0	37.9	23.0
media	8.4	6.8	7.2	0.8
máximo	95.8	92.9	45.2	18.5

Dado que las muestras en las que se detectó movilidad en uno o más elementos son las más interesantes, con ellas se procedió a la realización del estudio quimiométrico.

palabras clave: minería abandonada, metales pesados, movilidad, métodos de reconocimiento de pautas no supervisados, transformación de Box-Cox.

key words: Abandoned mining, heavy metals, mobility, unsupervised pattern recognition methods, Box-Cox transformation.

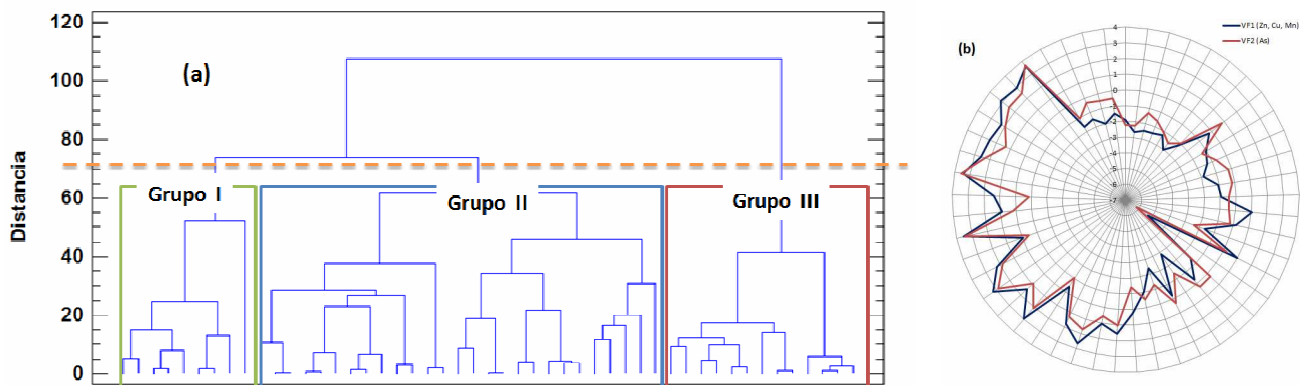


fig 1. Estudio quimiométrico: (a) Dendrograma del agrupamiento natural de las muestras atendiendo a la movilidad de los elementos estudiados. (b) Diagrama axial que recoge las puntuaciones obtenidas para las muestras considerando los dos varifactores definidos.

Análisis de conglomerados jerárquicos (ACJ)

Tras la normalización de los datos seleccionados mediante una transformación de Box-Cox, utilizando la distancia de Manhattan como criterio de similitud y el método de Ward como criterio de aglomeración, se ha obtenido el dendrograma mostrado en la figura 1(a), en el que se puede observar que aparecen tres grupos de muestras:

- Grupo I: constituido por muestras en las que el elemento que se moviliza es el Zn, aunque no lo hace en gran proporción (inferior al 2%).
- Grupo II: constituido por muestras que tienen dos o tres elementos móviles. No obstante, a pesar de esta connotación, los porcentajes de elementos solubilizados no son muy altos.
- Grupo III: constituido por las muestras que presentan más elementos móviles y más movilidad de los mismos.

Análisis factorial (AF)

Este análisis se ha realizado tomando como criterio de factorización el de los componentes principales y la rotación Varimax. Se han seleccionado dos varifactores (VF1 y VF2) que explican el 85.23 % de la varianza total de los resultados.

El VF1 está influenciado por los valores normalizados de la movilidad de Cu, Mn y Zn, mientras que el VF2 está influenciado por el valor normalizado de

la movilidad de As.

La figura 1(b) muestra la representación de las puntuaciones obtenidas para cada varifactor. En ella se puede observar la coincidencia con los grupos encontrados mediante ACJ.

Del análisis de reconocimiento de pautas no supervisado (ACJ y AF) realizado teniendo en cuenta el porcentaje de fracción solubilizada con respecto al contenido total de cada elemento en las muestras estudiadas, se obtiene información sobre la influencia de estos parámetros en la agrupación natural de las muestras, con el valor añadido que esto supone para valorar el impacto sobre el medio asociado a la movilidad de metales estudiada.

REFERENCIAS

Bagur, M. G., Morales, S., López-Chicano, M. (2009a): Evaluation of the environmental contamination at an abandoned mining site using multivariate statistical techniques-The Rodalquilar (Southern Spain) mining district. **80 (1)**, 377-384.

—, Estepa, C., Martín, F., Morales, S. (2009b): Use of Bi oassay in the Assessment of Soil Contamination in the Mining Area of Rodalquilar (Almería, SE Spain) *Geochim.Cosmochim.Acta*, **73 (13-1)**, A70.

Fernandez, M. A. & Gröbner, J. (2005): Mineralogía. In: "Rodalquilar. El oro del Cabo del Ágata", Arribas Jr., A., Hernández, F., Fernández, M. A., Gröbner, J., Leal G., eds. *Bocamina*, p. 12-79.

Figueroa-Cisterna, J., Bagur-González, M. G., Morales-Ruano, S., Carrillo-Rosúa, J., Martín-Peinado, F. (2011): The use of a combined portable X ray fluorescence and multivariate statistical methods to assess a

validated macroscopic rock samples classification in an ore exploration survey. *Talanta*. **85 (5)**: 2307-2315.

Morales, S. (1994): *Mineralogía, geoquímica y metalogénia de los yacimientos hidrotermales del SE de España (Aguilas-Sierra Almagrera)*. Tesis doctoral. Universidad de Granada

Sánchez García, M. L., Bagur González, M. G., Morales Ruano, S. (2010): *Contenido de metales en pelo de una población de una zona con minería metálica abandonada-Macla*, **13**, 195.