

La Rambla de El Avenque-Gorguel (Murcia): Un Caso de Estudio para la Zonificación de Riesgos por Elementos Potencialmente Tóxicos

/ MARIA JOSE MARTÍNEZ SANCHEZ (1) / CARMEN PEREZ SIRVENT (1) / MARI LUZ GARCIA LORENZO (2) / SALVADORA MARTINEZ (1) / LUCIA BELEN MARTÍNEZ (1) / MANUEL HERNANDEZ CORDOBA (3) / CARMEN HERNANDEZ (1)

(1) Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Campus de Excelencia Internacional Mare Nostrum. Universidad de Murcia.

(2) Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense de Madrid. (España)

(3) Departamento de Química Analítica. Campus de Excelencia Internacional Mare Nostrum. Universidad de Murcia. (España).

INTRODUCCIÓN

La extracción de minerales supone una fuente de contaminación de elementos potencialmente tóxicos (EPTs), que puede alcanzar zonas distantes de su origen. En la Sierra minera de Cartagena-La Unión, uno de los principales distritos mineros de la Península Ibérica, con una antigüedad de más de 4000 años, cumple con los requisitos para ser una de las zonas de estudio para la caracterización de riesgos procedentes de la actividad minera y de su posterior abandono.

La causa principal de la contaminación por EPTs, es el comportamiento de los materiales de origen minero de la sierra, que, sometidos a procesos de meteorización primaria in situ (alteración supergénica), dan como resultado diferentes productos según las reacciones de hidratación, hidrólisis, oxidación y disolución, estando la cinética de todas ellas condicionada por el pH, potencial redox y temperatura. Los mecanismos de alteración están favorecidos por diversos procesos de desagregación física como termoclastia, haloclastia, fuerzas biomecánicas, etc. Como consecuencia de todos ellos se producen con el tiempo modificaciones en las propiedades físico-químicas y mecánicas, composición mineralógica y petrológica (Pérez Sirvent et al, 1998; Navarro et al, 2012).

MATERIALES Y ZONA DE ESTUDIO

Los materiales procedentes de las actividades mineras que se encuentran en la Sierra Minera y Portman, son de naturaleza muy variada y granulometría heterogénea. Se trata de una mezcla de materiales en la que se distingue restos del tratamiento mecánico y metalúrgico de las menas beneficiadas, constituidos por roca encajante no alterada, roca encajante alterada, mineralización primaria (sulfuros metálicos), mineralización secundaria (alteración hidrotermal) y productos de alteración supergénica de los sulfuros de Pb, Zn y Fe que constituyen la mena de estas explotaciones (Figura 1).



Fig. 1. Antigua balsa de estériles parcialmente erosionada por la rambla de El Avenque.

Dichos materiales sufren procesos de meteorización, transporte y sedimentación, con una dispersión hídrica de sus contaminantes por las ramblas y sus zonas de inundación y depósito, en las zonas circundantes topográficamente más bajas. En estas zonas se producen procesos de atenuación, disminuyendo la movilización de los contaminantes, así como su transferencia a la biota y

por tanto a la cadena trófica.

MÉTODOS

Se recogieron 5 muestras de agua después de diferentes episodios de lluvia y se determinó pH, conductividad eléctrica (CE) e iones solubles mediante cromatografía iónica. El contenido en Zn, Pb, Cd, Fe, Cu y Mn se obtuvo mediante espectrometría de absorción atómica (con atomización en llama y/o horno de grafito). El contenido en As se determinó por fluorescencia atómica. Se seleccionaron quince puntos de muestreo siguiendo una catena desde el inicio de la rambla hasta la playa. Las muestras de suelo y sedimento, una vez tamizadas (<2mm) y homogeneizadas, se analizaron determinando pH, CE, granulometría, y EPTs, mediante digestión con microondas y espectrometría de absorción atómica (con atomización en llama y/o horno de grafito) y fluorescencia atómica (As). El análisis mineralógico se realizó mediante difracción de Rayos X con un difractómetro PW3040 Philips. Los difractogramas fueron interpretados con el programa X-powder, utilizando la base de datos PDF2 (Martín, 2004).

RESULTADOS

En la figura 2 se propone el modelo conceptual simplificado, incluyendo todos los determinantes asociados a esta zona. Podemos distinguir los siguientes: Fuentes contaminantes: La rambla del Avenque tiene un recorrido corto y

palabras clave: ETP, Alteración Supergénica, Suelos de Mina, Sulfuros Metálicos.

key words: PTE, Supergenic Alteration, Mining Soils, Sulphides.

una fuerte pendiente hasta su desembocadura en la playa del Gorguel. Constituye un antiguo conjunto minero, cuya actividad se remonta al periodo romano, con profundas alteraciones producidas por el hombre. Se pueden distinguir cuatro zonas bien diferenciadas (Figura 3):

- Zona 1: Cabecera de rambla, foco contaminante
- Zona 2: Zona de alta pendiente, erosión, poco contaminada.
- Zona 3: Zona de recepción de vertidos de la rambla, abanico aluvial. La parte de contacto con el mar está sujeto a la acción de las corrientes marinas.
- Zona 4: Sedimentos mineros sumergidos.



Fig. 2. Modelo conceptual para la rambla de El Avenque.

En la cabecera de la rambla se sitúa un importante foco contaminante con muy altas concentraciones de metales pesados (1-2% de Zn, 1-5% Pb, ...). En esta parte más elevada se encuentran balsas de estériles mineros y lavaderos de mineral, los cuales vertían los estériles directamente al cauce de la rambla.



Fig. 3. Esquema de situación de las zonas diferenciadas.

En la parte intermedia y de mayor pendiente, no hay evidencias de materiales mineros a excepción del estrecho cauce de la rambla, coincidiendo con una zona

abarrancada sobre rocas carbonatadas. En la zona de recepción, en la playa hay un gran abanico aluvial, relleno artificial de estériles mineros de origen antrópico, con concentraciones muy altas de metales pesados, equivalentes a las encontradas en la cabecera.

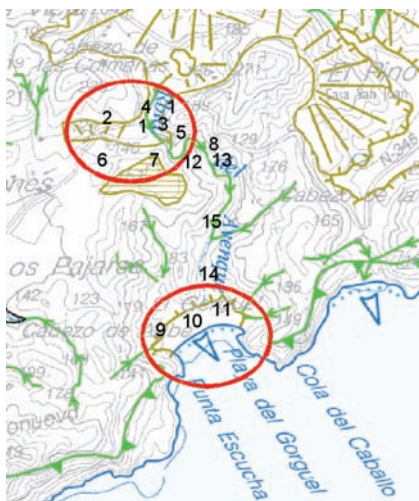


Fig. 4. Situación de la zona de cabecera y la zona de recepción de la rambla.

Vías de dispersión:

La vía de dispersión principal es la lluvia que alimenta a la rambla y produce las escorrentías, transportando material particulado y soluble. Otra vía importante es el viento.



Receptores

Estos materiales contaminantes quedan sedimentados, en parte, en el lecho de la rambla que a su vez actúa de foco emisor. Otra parte iba aguas abajo hasta llegar a la playa, donde se

depositan y/o llegan al Mar Mediterráneo.

La caracterización de estos materiales para poder estimar los riesgos asociados a su alteración y dispersión, ha requerido realizar un estudio químico y mineralógico de los suelos/sedimentos muestreados cuyo resumen se muestra en las *tablas 1 y 2*.



Los sedimentos muestreados presentan valores de pH muy ácido con intervalos entre 2,1- 3,0, y los contenidos en ETPs son más elevados en general que los de la vertiente del Mar Menor. Los valores medios de Zn son: 7890 mg kg⁻¹ (máximo de 19000 mg kg⁻¹), 9480 mg kg⁻¹ de Pb (máximo de 47000 mg kg⁻¹), 2480 mg kg⁻¹ de As (máximo de 4000 mg kg⁻¹) y 32 mg kg⁻¹ (máximo de 75 mg kg⁻¹) de Cd.

La *tabla 3* muestra los resultados obtenidos sobre 5 muestras de agua recogidas en distintos puntos de la rambla, después de la lluvia, y proporciona datos sobre el comportamiento de la movilización natural que presentan estos materiales. El transporte de Zn y Cd en forma soluble es notable, el Pb presenta solubilidades inferiores pero significativas. El As soluble en agua de lluvia puede ser importante en cabecera, y ser menos soluble en zonas mas bajas.

La existencia de eflorescencias de sales que cubren la superficie supone una importante fuente de metales solubles al medio. En esta bahía, los sedimentos depositados en las zonas más externas están afectados por la dinámica litoral, que lava y arrastra las partículas de tamaño arcilla y limo, depositando en la orilla las de tamaño arena, de color negro rojizo, muestra 15, (Tabla 2).

DISCUSIÓN

La oxidación de los sulfuros como pirita, debida a la inestabilidad de estas fases cuando se encuentran en un medio oxidante y ácido, es la principal responsable del aumento de la acidez y la formación de una serie de productos en los

	pH	EC (dS/m)	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Fe (%)	As mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg
D1	2.5	4.5	10437	2471	23	16.23	1593	404	1553
D2	2.5	2.5	2232	47619	37	21.46	3939	636	496
D3	2.1	6.2	2430	12148	39	24.18	3210	569	685
D4	2.1	6.2	2163	3558	22	20.33	3961	615	721
D5	2.2	6.9	1722	3086	23	22.56	2362	344	802
D6	2.2	1.6	12364	21884	22	23.46	4429	310	495
D7	5.8	1.3	19366	3486	21	22.11	1610	233	2264
D8	4.1	1.8	9158	3571	22	18.09	1448	165	1877
D9	4.5	6.0	10169	3428	55	21.22	1493	207	3125
D10	4.5	4.7	4975	3438	75	23.28	1260	149	2025
D11	3.6	3.5	11263	2693	22	24.33	1481	1335	1665
D12	2.3	15.8	11964	2039	25	28.15	1866	1082	1645
D13	3.0	5.3	6856	6856	25	24.52	1190	137	1714
D14	4.3	2.5	2388	554	10	4.86	3115	110	6686
D15	8.1	0.5	1210	1936	11	7.01	304	131	1447

Tabla 1. Resultados de los sedimentos/suelos analizados.

depósitos procedentes de la actividad minera. Además, constituye una fuente de contaminación por metales pesados que puede afectar tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas.

En la zona mineralizada, las etapas finales del proceso de alteración supergénica conducen a un gran número de sulfatos con diferente grado de hidratación, que aparecen como eflorescencias salinas y que pueden retener metales liberados durante el proceso de oxidación. Por otra parte, como el relieve circundante está formado por materiales de naturaleza caliza, el agua de escorrentía que proviene de dichos materiales no mineralizados cuando reacciona con las aguas ácidas, se produce una coprecipitación de carbonatos básicos de Fe, los cuales retienen cantidades variables de metal pesado. Todo este

proceso implica una atenuación natural de la contaminación.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede realizar una estimación de riesgos a priori para una zonificación posterior:

En la Zona 1, se pueden estimar una movilización natural intensa, dispersión eólica intensa, movilización potencial por oxidación-reducción de sulfuros intensa y movilización potencial vía bioaccesibilidad intensa. Sería imprescindible hacer una evaluación antes de proponer cualquier cambio de uso.

Para la Zona 2, no hay signos de contaminación fuera del cauce de la rambla, luego la estimación es que el riesgo es aceptable en la mayor parte del territorio, cuidando las zonas del cauce.

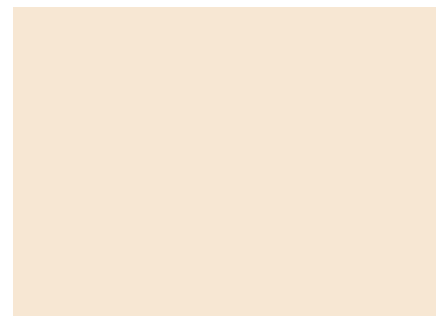
En la Zona 3, la situación es análoga a la de la zona 1, salvando el material de granulometría mas gruesa (arena de playa) que por analogía con la que se encuentra en la Bahía de Portman, se puede considerara como material inerte y de baja o nula movilidad. (Martínez Sánchez et al, 2008). La estimación de riesgos para la salud de las personas sería inaceptable para un uso residencial, de parque urbano, en una parte importante de la zona.

REFERENCIAS

Martínez-Sánchez, M.J., Navarro, M.C., Pérez-Sirvent, C., Marimón, J., Vidal, J., García-Lorenzo, M.L., Bech, J. (2008): Assessment of the mobility of metals in a mining-impacted coastal area (Spain, Western Mediterranean). *J. Geochem. Explor.*, 96, 171-182.

Navarro-Hervás, C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Molina, J. (2012): "Weathering processes in waste materials from a mining area in a semiarid zone". *App. Geochem.*, 27, 1991-2000.

Perez-Sirvent, C., Martínez Sánchez, M.J., García-Rizo, C. (1999): Lead mobilization in calcareous soils. En: "Fate and Transport of Heavy metals in the Vadose Zone". Eds. Selim, H.M. e Iskandar, I.K. Lewis Publishers.



	Feldspatos	Filosilicatos	Cuarzo	Yeso	Jarosita	Hematites	Goetita	Akaganeita	Alunita	Goldichita	Amorfos
Media	7.33	23.00	11.38	20.14	5.33	7.31	6.92	3.75	4.50	5.31	7.33
Mediana	6.00	21.00	9.00	18.00	5.00	6.00	6.50	3.50	4.50	5.00	6.00
Desv. típ.	2.85	9.01	6.86	11.44	1.76	3.61	3.12	1.28	2.07	2.14	2.85
Mínimo	4	3	6	6	0	4	4	0	0	0	4
Máximo	13	39	32	39	9	16	13	6	7	9	13
P25	5.00	18.00	7.00	10.00	4.00	5.00	4.00	3.00	3.25	4.00	5.00

Tabla 2. Composición mineralógica.

Aguas	pH	CE (dS/m)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	As (g/l)	Mn (mg/l)
D1	4,8	2,12	180	0,87	0,43	<ld	3,72	0,02	0,01
D2	2,7	2,19	44	0,10	1,00	98,50	<ld	1,72	12,90
D4	2,6	3,12	1020	0,06	2,20	975	457,72	1,84	19,60
D9	4,0	5,71	200	1,23	1,10	0,48	4,36	0,19	0,05
D10	3,1	28,50	540	2,26	25,00	5,31	5,01	1,97	0,25

Tabla 3. Composición de las aguas muestreadas.