

CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA RAMBLA DE EL GORGUEL (SE PENÍNSULA IBÉRICA)

Contamination by Heavy Metals in El Gorguel "Rambla" (SE Iberian Peninsula)

Federico G. Pavetti¹, Héctor M. Conesa-Alcaraz, Ángel Faz-Cano^{2†}, Raquel Arnaldos y Gregorio García

RESUMEN

La intensa actividad minera que tuvo lugar en el distrito minero de Cartagena-La Unión (SE de la Península Ibérica) durante más de 2500 años hasta finales del siglo XX ha tenido consecuencias importantes en el medio ambiente de la zona. Entre las mismas cabría resaltar la presencia de residuos con elevadas concentraciones en metales pesados. Estos residuos, dispuestos en forma de unas estructuras piramidales truncadas denominadas pantanos de estériles, son susceptibles de ser arrastrados por los agentes erosivos a través de las ramblas que desaguan la Sierra Minera hacia otras zonas más alejadas. La rambla de El Gorguel es un ejemplo característico de este tipo de fenómenos, ya que presenta en su cabecera seis balsas de estériles mineros. Este estudio tiene como objetivo conocer el contenido de metales pesados existentes en el cauce de la rambla de El Gorguel, a partir de muestras de suelo recogidas a lo largo del mismo. Tras los análisis edáficos realizados puede afirmarse que el cauce de la rambla es afectado por una elevada presencia de metales pesados.

Palabras clave: minería, residuos, arrastre, medio ambiente.

SUMMARY

The intensive mining activity that has taken place in the mining district of Cartagena-La Unión (SE Iberian Peninsula) for more than 2500 years, until the end of the

20th century, has had important consequences for local environment. Among these, the presence of heavy metals in high concentrations can be highlighted. These mining wastes, located in pyramidal structures called "balsas", are unprotected against erosion processes. Important amounts of material from "balsas" are transported to other zones through fluvial intermittent characteristic Mediterranean riverbeds called "ramblas", taking the pollution problem to a higher level. The "Gorguel Rambla" is a representative example of this problem due to the fact that its headwater presents six sterile mine "balsas". The goal of this study was to determine the heavy metal levels in the riverbed, using soil samples taken from headwater to mouth. After analysing some samples we can assume that the Gorguel Rambla is highly affected by an elevated presence of heavy metals.

Index words: mining activity, wastes, dragging, environment.

INTRODUCCIÓN

El distrito minero de Cartagena-La Unión, situado en el Sureste de la Península Ibérica, ha sido, durante siglos, uno de los enclaves mineros más importantes de la misma. Ocupa aproximadamente 50 km² dentro de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Ésta, se trata de una sierra costera que se encuentra situada en el extremo suroriental de las Cordilleras Béticas (sureste de la Región de Murcia) y forma una alineación casi paralela al Mar Mediterráneo, encontrándose las mayores altitudes comprendidas entre 300 y 400 m. Al Norte limita con la depresión del Campo de Cartagena y al Sur con el Mar Mediterráneo. La pluviometría es inferior a 400 mm siendo bastante frecuentes las lluvias de carácter torrencial. La temperatura media anual es de 17.5 °C.

En el distrito minero de Cartagena-La Unión, a lo largo de más de 2500 años de historia, fenicios, cartagineses o romanos, entre otros, han explotado sus minas buscando plata, plomo, zinc, cobre, estaño, hierro o manganeso, en un área de 50 km² (Oen *et al.*, 1975).

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Pasaje Río IV 866, 2400 San Francisco, Córdoba, Argentina (gpavetti@agro.uncor.edu)

² Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, España. Fax: +34 968 32 54 35.

[†] Autor responsable (angel.fazcano@upct.es)

No obstante, fue a partir de mediados del siglo XIX cuando la actividad extractiva alcanzó una mayor intensidad, manteniéndose dicho auge casi de manera continua hasta finales del siglo XX.

Como resultado de la actividad extractiva, y sobre todo de las operaciones de lavado y beneficio de minerales, se generaron ingentes cantidades de residuos que aún en la actualidad son patentes en el paisaje de la zona. Estos residuos, con elevado contenido en metales pesados, como plomo, cobre o zinc:

- se vertieron directamente al mar (caso de la bahía de Portmán, colmatada en la actualidad por más de 30 millones de toneladas procedentes del cercano lavadero "Roberto");

- en otros casos, se acumularon en estructuras denominadas pantanos o "balsas" de estériles, que suponen en total 160 ha en toda la sierra, acumulando algunas de ellas volúmenes de hasta 800 000 m³. Muchos de estos pantanos presentan gravísimos problemas de estabilidad estructural y de pérdida de materiales debido a la erosión.

Finalmente, se encuentra un elemento característico de la hidrología de la zona: las ramblas. Éstas se tratan de cauces temporales o intermitentes que sólo presentan agua de manera circunstancial y eventual tras las lluvias. La red de ramblas es de carácter irregular, dendrítica y formada por numerosos cursos secos de diferentes dimensiones, que definen un paisaje erosivo particular. La Sierra Minera, cadena montañosa de dirección este-oeste, constituye la línea divisoria de las aguas de lluvia, haciendo que éstas desemboquen en el Mar Menor, por el Norte, y en el Mar Mediterráneo, por el Sur. Muchas de estas ramblas fueron receptoras directas de los vertidos mineros, o bien, de manera indirecta al producirse la erosión sobre las estructuras mineras. En la desembocadura de numerosas ramblas puede encontrarse un abanico aluvial de baja pendiente formado por gravas y arenas procedentes, en su mayoría, del arrastre de las escombreras y balsas de residuos de lavaderos situados en las cabeceras y tramos altos de dichas ramblas (Fundación Sierra Minera, 2001). Hoy día, y tras más de 10 años de cese de la actividad minera, muchas de estas ramblas siguen arrastrando residuos mineros. Este hecho se favorece por tres factores: la elevada torrencialidad de las lluvias, elemento clave para facilitar el arrastre de materiales, las elevadas pendientes en cabecera y la presencia de gran cantidad de residuos mineros desprotegidos frente a los fenómenos erosivos. Algunos estudios que se han realizado con anterioridad

advierten de la presencia de metales pesados en los cauces y desembocaduras de estas ramblas, muchas de las cuales discurren cercanas a campos de cultivo y zonas de recreo (playas, humedales, etc.) (Álvarez-Rogel *et al.*, 2002; Ramos-Aparicio *et al.*, 2002). La contaminación por metales pesados presenta unos efectos muy nocivos, no sólo para el suelo y las plantas que viven en él, sino que también se convierte en un grave peligro de salud pública para las personas que viven en áreas cercanas al foco contaminante. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de acometer labores para mitigar los efectos erosivos.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la dinámica de contaminantes metálicos en una rambla del distrito minero de Cartagena-La Unión. Para ello, se ha seleccionado la rambla de El Gorguel (también llamada de "El Avenque"). Ésta se sitúa en plena Sierra Minera de Cartagena-La Unión, al Sur del término municipal de La Unión (37° 37' 0" N, 0° 52' 35" O). La cabecera se encuentra situada a 200 m de altitud y discurre durante algo menos de 3 km hasta desembocar en el Mar Mediterráneo. En el cauce de la rambla pueden diferenciarse dos partes: un primer tramo desde la cabecera hasta aproximadamente la mitad del recorrido, en el que la rambla se encuentra circundada por seis balsas –también denominados pantanos– de estériles mineros, que le aportan al cauce gran cantidad de materiales. En este primer tramo, las pendientes, sobre todo en cabecera, son muy elevadas, existiendo diversos escalones o saltos de agua. El segundo tramo, de pendientes más suavizadas, discurre desde el final del anterior hasta la desembocadura y se encuentra rodeado por una vegetación natural de gran valor botánico y paisajístico –de carácter endémico–, no existiendo vestigios de explotaciones mineras en los márgenes. La desembocadura de la rambla se encuadra en una cala natural que se encuentra parcialmente colmatada por los estériles mineros procedentes de la propia rambla y de los vertidos procedentes del antiguo lavadero "Roberto", situado en la cercana bahía de Portmán.

Tras haber sido expuesto todo lo anterior, se ha planteado como objetivo conocer la distribución de los metales pesados a lo largo del cauce de la rambla con miras a determinar cuáles son los puntos que presentan un mayor grado de contaminación y dilucidar si, como consecuencia de los procesos de arrastre, el grado de contaminación en la playa es similar al del foco contaminante, situado en la cabecera de la rambla. Para ello, se ha procedido a cumplir el siguiente plan de trabajo:

- toma de muestras de suelo superficial regularmente espaciadas sobre el cauce de la rambla;
- toma de muestras edáficas de los pantanos mineros;
- muestreo de agua del cauce de rambla y de los pantanos mineros, tras lluvia;
- realizar, en todas las muestras, los análisis de elementos metálicos en sus diferentes formas, y también, de los parámetros y características físico-químicas que influyen en su movilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El distrito minero de Cartagena-La Unión se sitúa en el Sureste de la Península Ibérica, 37° 37' 20" N, 0° 50' 55" O - 37° 40' 03" N, 0° 48' 12" O) a una altitud de 110 - 0 m.

Métodos de Laboratorio

Previamente a la realización de los análisis de laboratorio, las muestras de suelo se secaron al aire y, posteriormente, se separaron mediante un tamiz de 2 mm. La tierra fina fue la utilizada como base para las determinaciones analíticas cuyos métodos son los que a continuación se resumen. No obstante, para determinar el contenido de carbono orgánico, de carbonato cálcico y de nitrógeno total, se llevó a cabo la molienda de esa tierra fina.

- Carbono orgánico (CO). Método de Anne, modificado por Duchaufour (1970), basado en la oxidación con $K_2Cr_2O_7$ en medio sulfúrico y valoración del exceso de oxidante con solución de $(SO_4)_2Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ (Sal de Mohr) de normalidad conocida en presencia de NaF y con difenilamina como indicador

- Nitrógeno total. Método de Kjeldahl, tal como lo describe Duchaufour (1970), con alguna modificación que no afecta a la esencia del método, como la destilación de NH_3 , en un equipo Büchi 315 en corriente de vapor recogido en ácido bórico saturado, con indicador rojo de metilo/verde de bromocresol y su posterior valoración con ácido clorhídrico, de concentración conocida y previamente factorado.

- Carbonato cálcico equivalente. Método volumétrico del calcímetro de Bernard previamente calibrado con Na_2CO_3 R.A., y partiendo del peso adecuado de tierra molida, según su contenido estimativo en carbonatos.

- Valores de pH. Método de Peech (1965), realizando la medida en suspensión 1:1 de suelo en agua con

un potenciómetro Crison. Con el mismo equipo se determinó el valor de pH en las muestras de agua.

- Conductividad eléctrica del extracto de saturación. Ésta se ha obtenido siguiendo el método descrito por Bower y Wilcox (1965) basado en la preparación de una pasta saturada con agua destilada y tierra fina. Tras 4 h de reposo, necesarias para el equilibrio, se obtiene el extracto acuoso mediante filtración a vacío utilizando embudos Büchner. Las medidas de conductividad eléctrica se realizaron en el extracto acuoso con un puente de conductividad Crison.

- Sales solubles. En el extracto obtenido para la determinación de la conductividad eléctrica en pasta saturada se determinaron sulfatos y cloruros por cromatografía iónica con un equipo Dionex LC20 con detector electroquímico ED40.

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Método de Chapman (1965), basado en la saturación del suelo con catión amonio y su destilación tras su desplazamiento en un equipo Büchi 315 en corriente de vapor, recogiendo el NH_3 en ácido bórico saturado, con indicador rojo de metilo/verde de bromocresol y su posterior valoración con ácido clorhídrico, de concentración conocida y previamente factorado.

- Textura. Tras una adecuada dispersión de la tierra fina utilizando hexametáfosfato sódico, se han determinado combinando la extracción con la pipeta de Robinson y la tamización, los porcentajes de arcilla ($< 2 \mu m$), limo fino (2 a $20 \mu m$), limo grueso (20 a $50 \mu m$) y la fracción de arena de 50 a $2000 \mu m$. A partir de estos porcentajes obtenidos tras el análisis granulométrico y del triángulo de texturas propuesto por la Guía de descripción de suelos de FAO-ISRIC-ISSS (1990) fue posible determinar la clase textural para cada muestra.

- Contenido de Pb, Cu y Zn soluble y total. Para la extracción de los metales en su fracción soluble se utilizó una mezcla de suelo con agua destilada en relación 1:5 a la que, posteriormente, se sometió a agitación durante 2 h. Para determinar metales totales, se empleó una digestión ácida usando una relación 1:1 de nítrico-perclórico. En todos los casos, inclusive en muestras de agua, las mediciones se realizaron mediante espectrometría de absorción atómica (UNICAM 969 AA spectrometer).

Método de Campo

Tras un estudio previo de la zona a analizar (interpretación de fotos aéreas, análisis de mapas

topográficos y recopilación de estudios anteriores sobre el área) se realizaron muestreos de suelo sobre la rambla de El Gorguel (Figura 1), aproximadamente cada 250 m de recorrido, tomando tres submuestras al azar por cada punto hasta una profundidad de 30 cm. En la desembocadura al Mar Mediterráneo, las muestras se tomaron en el punto central de la playa donde vierte la rambla y a ambos lados de éste. Asimismo, se tomó una muestra de suelo superficial 30 cm bajo el nivel del mar.

Además, se recogieron muestras de los pantanos mineros, tanto en su meseta, como en su talud.

Por otro lado, y tras unas lluvias caídas, se tomaron muestras de agua en circulación sobre la rambla en distintas posiciones coincidentes con los puntos R1, R4 y R7, además de las muestras recogidas en las mesetas deprimidas de los pantanos 1, 2 y 6.

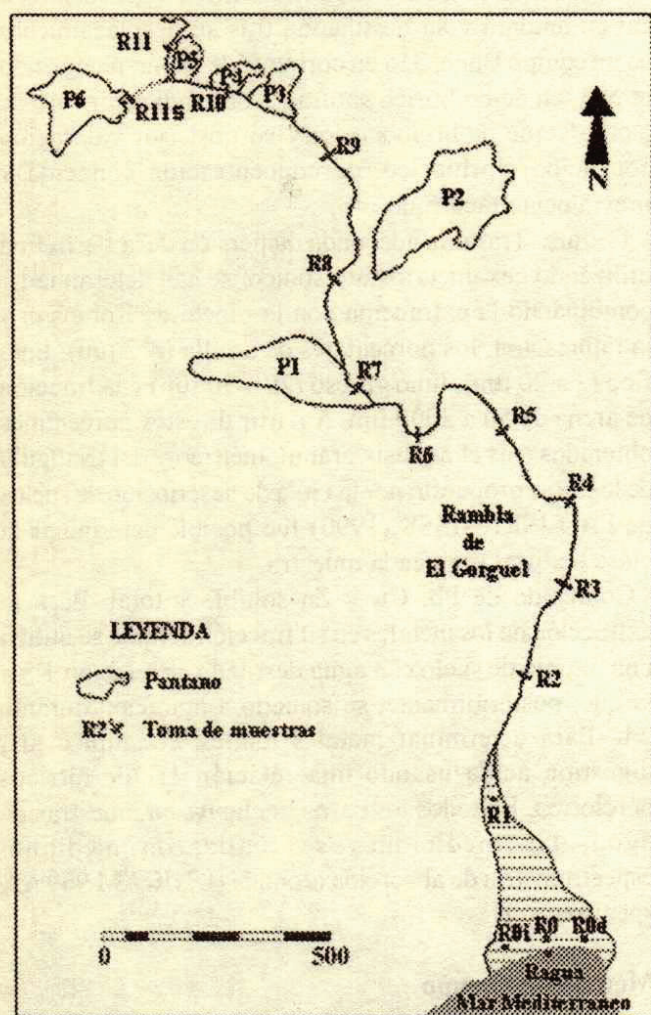


Figura 1. Esquema longitudinal de la rambla de El Gorguel donde pueden observarse los puntos de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la rambla, los resultados muestran, en forma general, texturas de arenosa a arenosa-franca, mientras que el pH, el contenido de carbonatos, la conductividad eléctrica y el carbono orgánico disminuyen hacia los focos de contaminación. Tendencia contraria presenta la CIC, ya que se incrementa en dicho sentido (Cuadro 1). Es interesante observar como, desde el Punto 6 (R6) hasta la desembocadura (R0), donde ya no existen residuos mineros en derredor, los pHs son superiores a 6.

En el Cuadro 2, se observa que, aunque en los pantanos predominan texturas arenosas, existe una mayor componente fina que en la rambla. Hay una gran heterogeneidad entre sus pHs, contenido de CO, CE y CIC. Esto se debe, posiblemente, tanto a la utilización de diferentes técnicas de extracción de minerales a lo largo del tiempo, como a la influencia de ciclos económicos alternantes que determinó el tipo de mineral a extraer o desechar, siendo este último acumulado en los pantanos de estériles, acentuando así dicha heterogeneidad. Igualmente influye en dichas características tanto la procedencia de la mena a beneficiar (que podía proceder de diferentes minas), como el sustrato utilizado para recubrimiento y/o estabilización del pantano. Asimismo, se observa que los puntos de la rambla con mayor acidez se encuentran en torno a los pantanos de cabecera [Pantanos 5 y 6 (P5 y P6)].

Al comparar los Cuadros 1 y 2, se observa como la presencia de los pantanos influye directamente en las características del cauce de la rambla. Así, en las cercanías del talud del Pantano 5 (P5) donde el pH es de 2.28, existe el punto de la rambla donde también se obtienen los menores valores de pH (4.22). También puede afirmarse que el aporte de materiales al cauce procede fundamentalmente de los taludes de los pantanos (Cuadro 3) y que las mesetas están exentas de procesos erosivos en la mayor parte de los casos.

En el Cuadro 4, se presentan los valores obtenidos a partir de muestras de agua recogidas durante una breve precipitación. Los valores de pH en el agua recogida aumentan hacia la desembocadura de la rambla. El contenido de sales y cationes solubles es variable, debido, posiblemente, tanto a la particular dinámica de sales en las vías de escurrimiento, como al aporte de agua de escorrentía de laderas constituidas por rocas dolomíticas localizadas en la parte baja de la cuenca.

Como puede apreciarse en los Cuadros 5 y 6, las concentraciones de metales totales son muy elevadas en

Cuadro 1. Carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N total), carbonato cálcico equivalente (CaCO₃), pH, conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), cloruros, sulfatos, textura. Los datos se refieren al cauce de la rambla (R).

Muestra	CO	N total	CaCO ₃	pH	CE	CIC	Cloruros	Sulfatos	Textura
	----- % -----				dS m ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	--- mg L ⁻¹ ---		
RW	0.81	0.019	14.42	7.87	18.95	3.93	1660.0	2530.0	Arena
R 0	3.01	0.013	3.41	7.22	25.30	1.95	7575.8	1706.4	Arena
R 0d	1.56	0.014	8.96	7.85	13.39	3.17	3537.0	583.1	Arena
R 0i	2.03	0.012	5.87	7.23	5.29	3.26	796.6	835.9	Arena
R 1	1.08	0.020	1.79	6.75	3.93	5.09	210.7	917.4	Arena
R 2	0.45	0.013	3.02	6.80	8.45	4.06	1428.8	1226.5	Arena
R 3	0.65	0.024	3.52	7.07	5.50	4.13	703.4	937.9	Arena
R 4	0.40	0.031	3.15	6.96	3.14	4.70	73.4	988.0	Arena
R 5	0.44	0.015	3.25	6.70	2.54	4.54	49.1	836.3	Arena
R 6	0.89	0.014	1.66	6.23	3.63	4.88	90.9	1235.1	Arena
R 7	0.96	0.015	1.78	5.97	6.41	5.66	70.9	1187.1	Arena
R 8	0.24	0.024	0.00	4.97	3.32	6.02	55.3	1123.9	Arena
R 9	0.06	0.010	1.80	5.45	5.47	6.26	98.7	2111.2	Arenoso franco
R 10	0.24	0.024	1.53	5.21	4.36	6.69	47.1	1524.2	Arenoso franco
R 11	0.12	0.022	0.98	4.22	3.46	6.58	57.1	1321.5	Arenoso franco
R 11s	0.37	0.025	2.03	7.10	2.01	5.01	16.1	607.9	Arenoso franco

Cuadro 2. Carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N total), carbonato cálcico equivalente (CaCO₃), pH, conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE), capacidad de intercambio catiónica (CIC), cloruros, sulfatos, textura. Los datos se refieren a los pantanos (P), tanto en talud (T), como en meseta (M).

Muestra	CO	N total	CaCO ₃	pH	CE	CIC	Cloruros	Sulfatos	Textura
	----- % -----				dS m ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	--- mg L ⁻¹ ---		
P1 T	1.47	0.015	14.89	7.54	2.84	2.99	40.9	1136.1	Arenoso franco
P1 M	0.4	0.040	0.00	6.21	32.5	3.79	8620.5	3225.3	Franco limoso
P2 T	1.77	0.024	18.58	7.17	3.19	4.98	181.5	823.6	Arenoso franco
P2 M	0.55	0.026	1.83	7.49	2.22	6.20	34.1	686.6	Arenoso franco
P3 T	0.37	0.073	0.84	2.72	31.8	7.48	111.5	30875.3	Franco arenoso
P3 M	0.52	0.019	3.10	6.33	8.66	5.88	134.5	3950.3	Franco arenoso
P4 T	0	0.021	1.78	3.03	38.3	5.27	365.5	41962.5	Franco arenoso
P4 M	0.86	0.025	1.59	5.73	3.33	3.15	38.2	1205.0	Franco arenoso
P5 T	0.08	0.022	1.02	2.28	34.2	7.37	321.0	43379.8	Franco arenoso
P5 M	0.24	0.001	1.49	4.66	2.74	8.88	25.8	927.4	Franco arenoso
P6 T	0.91	0.014	1.77	7.16	3.08	4.51	34.6	840.7	Arenoso franco
P6 M	0.47	0.029	0.00	1.97	17.05	10.37	131.0	13722.5	Arenoso franco

Cuadro 3. Coeficientes de correlación para las variables estudiadas entre las muestras de los pantanos en talud (P1T, P2T, P3T, P4T, P5T, P6T) y meseta (P1M, P2M, P3M, P4M, P5M, P6M) y las correspondientes muestras del cauce de rambla más cercanas aguas abajo de los mismos (R7, R8, R9, R10, R11, R11s).

Muestra	CO [†]	N total [‡]	CaCO ₃ [§]	pH	CE [¶]	CIC [#]	Cloruros	Sulfatos
T	0.56	-0.75	-0.57	0.62	0.15	0.60	-0.03	0.63
M	-0.16	-0.10	-0.31	-0.58	0.46	-0.45	0.24	-0.55

[†] CO = carbono orgánico, [‡] N total = nitrógeno total, [§] CaCO₃ = carbonato cálcico equivalente, [¶] CE = conductividad eléctrica del extracto de saturación, [#] CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 4. Valores de pH, conductividad eléctrica (CE), cobre, zinc, plomo, cloruros y sulfatos en las muestras de agua. Agua de la rambla (AR) y agua de pantanos (AP).

Muestra	pH	CE	Cu	Zn	Pb	Cloruros	Sulfatos
		dS m ⁻¹					
AR1	4.76	7.83	1.1	212.5	1.7	931.7	2203.8
AR4	4.14	6.38	4.1	680.0	1.7	251.5	2623.6
AR7	3.25	6.81	8.5	1010.0	1.8	114.9	3286.8
AP1	4.61	1.92	0.8	28.0	0.9	117.8	421.4
AP2	6.53	10.02	0	26.0	0	1793.5	946.7
AP6	3.31	1.14	0.1	8.5	0	20.3	285.8

ambos casos. Así, por ejemplo, el cobre total sobrepasa 310 mg kg⁻¹, valor admitido por el Gobierno Vasco para suelos en áreas de protección de ecosistemas (Seoánez-Calvo *et al.*, 1999) y 190 mg kg⁻¹ que constituyen el valor de intervención en Holanda (NMHPE, 1991). El plomo total presenta un valor medio que supera en 3962% al promedio del vertido de Doñana (Cabrera *et al.*, 1999). La concentración de plomo también excede el valor de 530 mg kg⁻¹ que propone Holanda para su intervención (NMHPE, 1991). El zinc total es ampliamente superior a 600 mg kg⁻¹ que es el de intervención para parques y jardines en Bélgica (Prost, 1997) y el de suelos agrícolas en Canadá (Sheppard *et al.*, 1992); también supera el límite de 720 mg kg⁻¹, señalado como el de intervención

en Holanda (NMHPE, 1991), al igual que los máximos umbrales obtenidos en Doñana por Aguilar *et al.* (1999) (2230 mg kg⁻¹) y los máximos citados por Collado *et al.* (2000) en zonas mineras (2660 mg kg⁻¹).

Hay que destacar la gran diferencia que existe entre la concentración total de metales y la extraída con agua destilada, por lo que, a pesar de las elevadas concentraciones, la mayor parte de los metales no se encuentra en forma soluble.

Al comparar los valores obtenidos en los taludes y mesetas de los pantanos con los puntos de muestreo del cauce de la rambla más cercanos aguas abajo, se obtienen correlaciones positivas en todos los metales para la fracción soluble, tanto en pantanos, como en mesetas y

Cuadro 5. Concentración de cobre, plomo y zinc totales y solubles que se obtienen en el cauce de la rambla. "R" son los puntos de muestreo en el cauce de la rambla.

Muestra	Cobre		Plomo		Zinc	
	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble
	----- mg kg ⁻¹ -----					
RW	350.7	0.2	1923.5	1.5	7993.6	0.8
R 0	1049.5	0.2	1949.0	1.3	6746.6	1.1
R 0d	155.1	0.1	2262.6	0.6	20387.9	0.2
R 0i	539.0	0.2	2063.4	1.2	8949.9	0.3
R 1	275.9	0.5	7997.6	1.2	10496.9	6.6
R 2	1059.7	0	7580.3	1.2	10722.1	2.6
R 3	1433.8	0	6932.0	0.9	10472.8	3.0
R 4	241.2	0.2	7939.7	2.0	14390.6	2.6
R 5	949.7	0.2	7047.9	1.0	12496.3	7.5
R 6	793.3	0	10263.8	2.2	9668.8	17.4
R 7	1072.1	0	15807.3	5.5	11219.7	45.0
R 8	239.8	0.1	9093.6	7.3	11242.1	194.1
R 9	218.8	0.4	9891.1	4.7	10740.3	219.5
R 10	1690.9	0.4	18102.2	10.3	10194.9	199.7
R 11	1066.5	0.3	10763.9	12.4	10912.7	390.0
R 11s	1284.8	0.4	3941.7	0.2	9480.1	1.9

Cuadro 6. Concentración de metales pesados (cobre, plomo y zinc) totales y solubles que se obtienen en los pantanos (P), en taludes (T) y en meseta (M).

Muestra	Cobre		Plomo		Zinc	
	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble
	----- mg kg ⁻¹ -----					
P1 T	310.3	0.0	2544.1	2.0	5986.2	0.6
P1 M	340.2	0.0	9799.0	1.0	13927.6	154.9
P2 T	268.1	0.0	3574.3	1.5	10424.9	0.8
P2 M	145.6	0.0	3839.3	2.7	9473.5	2.3
P3 T	192.7	3.8	24341.8	13.6	18628.9	7988.3
P3 M	596.8	0.0	12293.1	1.7	22305.9	1774.4
P4 T	148.0	2.6	14949.8	21.1	15893.5	5940.5
P4 M	195.4	0.2	12012.8	12.8	20685.9	329.8
P5 T	195.3	3.5	13797.6	12.4	14196.1	5164.3
P5 M	143.2	0.3	16754.5	12.7	9694.7	811.3
P6 T	152.6	0.0	15405.3	3.7	14707.3	25.0
P6 M	58.9	1.3	4091.0	2.9	1995.6	949.7

Cuadro 7. Correlación que existe para las concentraciones de metales pesados entre las muestras de los pantanos en talud (P1T, P2T, P3T, P4T, P5T, P6T) y meseta (P1M, P2M, P3M, P4M, P5M, P6M), y las correspondientes muestras del cauce de rambla más cercanas aguas abajo de los mismos (R7, R8, R9, R10, R11, R11s).

Muestra	Cobre		Plomo		Zinc	
	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble
T	-0.44	0.60	-0.23	0.54	-0.52	0.64
M	-0.50	0.41	0.49	0.80	0.30	0.17

para las concentraciones totales sólo en las mesetas, excepto para el cobre.

En general, los metales tienden a fijarse en los suelos cuando el pH es básico, con lo cual su grado de lixiviación es bajo. El riesgo, sin embargo, es mucho mayor en los suelos estudiados, por ser predominantemente ácidos, de textura gruesa y pobres en materia orgánica. Además de esto, la oxidación de pirita, que transforma los sulfuros en sulfatos, provoca la solubilización de los elementos contaminantes, los cuales son susceptibles de lavarse con las aguas de lluvia e incrementar la contaminación en los suelos de la cuenca. Este hecho quedó reflejado en el Cuadro 4, en el cual se observan elevadas concentraciones de zinc presentes en el agua. También es importante destacar la variación en la concentración con respecto a la distancia recorrida sobre la rambla, donde tiene lugar una gran disminución en la concentración de cobre y plomo a medida que avanza el agua hacia la desembocadura, dado que éstos son los menos solubles y tenderán a precipitar. Las cantidades

solubles de Pb nunca superan 10 mg L⁻¹, mientras que las de Cu son siempre inferiores a 1 mg L⁻¹.

Conviene observar también, que el Pantano 6, situado en un ramal secundario, no aporta metales solubles a la rambla (Cuadros 5, 6 y 7). Este hecho confirma lo expresado anteriormente, ya que el pH del punto R11 y el talud de dicho pantano están próximos a la neutralidad. Por ende, las concentraciones que el punto R10 presenta provienen de la rambla principal ya que, al tener un pH cercano a 4, la solubilidad en ella es mayor.

CONCLUSIONES

- La rambla de El Gorguel se encuentra profundamente afectada por la presencia de residuos mineros. Estos residuos son aportados por los pantanos de estériles presentes en su cabecera y son transportados por el agua de escorrentía hasta la desembocadura de dicha rambla.
- La concentración de todos los metales estudiados (cobre, plomo y zinc) es mayor que los valores críticos

recogidos en diversas legislaciones nacionales, como la holandesa, la belga o la canadiense. Asimismo, se sobrepasan ampliamente los valores obtenidos por diversos autores para episodios de contaminación tan significativos como el ocurrido en Aznalcóllar (España) en el año 1998, tras la rotura de una presa de aguas ácidas.

- La presencia de elevados valores de metales pesados, sobre todo en la desembocadura de la rambla, donde se sitúa una playa de baño y una zona de recreo, supone un peligro claro y evidente para la salud pública.

- Es necesario establecer un plan de limpieza del cauce y de la desembocadura de la rambla y conseguir la estabilización de los pantanos de estériles situados en la cabecera, pues son los responsables de la contaminación existente en el cauce. Las condiciones extremas de acidez que se dan en algunos de estos pantanos impiden el desarrollo de una cubierta vegetal estable que pueda paliar, en parte, los fenómenos erosivos que sufren, por lo que es necesario acometer labores de estabilización mecánica, o bien, de adición de enmiendas que puedan facilitar el establecimiento de dicha cubierta vegetal.

- La inexistencia de residuos mineros en el segundo tramo de la rambla, donde los aportes materiales a la misma son de origen natural, calcárico y no contaminado, permite un aumento en el pH del cauce que se traduce en una disminución de la fracción metálica soluble. No obstante, la concentración total de metales pesados sigue siendo muy elevada.

AGRADECIMIENTO

A la Fundación Séneca, perteneciente a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, por su apoyo económico.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, J., C. Dorronsoro, E. Fernández, J. Fernández, I. García, F. Martín, I. Ortiz y M. Simón. 1999. Contaminación de los suelos por rotura de la presa minera de Aznalcóllar (Sevilla). pp. 13-24. *In*: Navarro, A., J.A. Sánchez y D.M. Collado (eds.). Minería industria y medio ambiente en la cuenca del Mediterráneo. Universidad de Almería. Almería, España.
- Álvarez-Rogel, J., M. J. Ramos-Aparicio y M. J. Delgado-Iñiesta. 2002. Quantification of Zn and Pb in the top soil and aerial biomass in a salt marsh polluted by metal mine wastes in SE Spain. pp. 469-472. *In*: Faz, Á., R. Ortiz y A. R. Mermut (eds.). Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España.
- Bower, C. A. y L. V. Wilcox. 1965. Soluble salts. pp. 933-940. *In*: Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Cabrera, F., L. Clemente, E. Díaz-Barrientos, R. López y J. M. Murillo. 1999. Heavy metal pollution of soils affected by Guadiamar toxic flood. *The Science of the Total Environment* 242: 117-129.
- Collado, D., A. Navarro y X. Cisteró. 2000. Evaluación de la movilidad de los metales pesados en el acuífero deltaico del río Almanzora (Almería). pp. 55-66. *In*: Navarro, A., J. A. Sánchez y D. M. Collado (eds.). Minería industria y medio ambiente en la cuenca del Mediterráneo. Universidad de Almería. Almería, España.
- Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-900. *In*: Black, C. A. (ed.). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Duchaufour, Ph. 1970. Précis de Pédologie. Masson. Paris, France.
- FAO-ISRIC-ISSS (Food and Agriculture Organization-International Soil Reference and Information Centre-International Society of Soil Science). 1990. Guidelines for soil description. 3ª edition (revised). Roma, Italy.
- Fundación Sierra Minera. 2001. Medio ambiente y empleo en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Murcia, España.
- NMHPE (Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment). 1991. Leidschendam, The Netherlands.
- Oen, I. S., J. C. Fernandez y J. I. Manteca. 1975. The lead-zinc and associated ores of La Union, Sierra de Cartagena, Spain. *Econ. Geol.* 70: 1259-1278.
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion activity. pp. 914-916. *In*: Black, C. A. (ed.). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Prost, R. 1997. Contaminated soils. 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. INRA Editions. Paris, Francia.
- Ramos-Aparicio, M. J., M. J. Delgado-Iñiesta y J. Álvarez-Rogel. 2002. Distribución de la vegetación y movilización de metales pesados en suelos contaminados de un saladar costero de la Región de Murcia. pp. 493-498. *In*: Ramos-Castellanos, P. y M. C. Márquez-Moreno (eds.). Avances en calidad ambiental. Universidad de Salamanca. Salamanca, España.
- Seoánez-Calvo, M., A. J. Chacón, A. Gutiérrez e I. Angulo. 1999. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Sheppard, S. C., C. Gaudet, M. I. Sheppard, P. M. Cureton y M. P. Wong. 1992. The development of assessment and remediation guidelines for contaminated soils - a review of the science. *Can. J. Soil Sci.* 72: 359-394.