

CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DEL SUELO FRENTE AL Cu Y Pb

M. Díez*, M. Simón, I. Garci a, C. Dorronsoro y J. Aguilarr

Dpto. Edafología y Química Agrícola, Fac. de Ciencias, Campus Fuente Nueva, Univ. de Granada.

INTRODUCCIÓN

El suelo actúa como un sistema depurador capaz de impedir o ralentizar la movilidad de diversos contaminantes, determinando en gran medida la calidad de los sistemas con los que se relaciona, como el agua, el aire o la biosfera. Cada suelo tiene una **capacidad de depuración** que depende de sus propiedades. Cuando se alcanza ese límite el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como "fuente" de sustancias tóxicas tanto para los organismos que viven en él como para los sistemas con los que se relaciona.

La **carga crítica** representa la cantidad máxima de un determinado componente que puede ser aportado a un suelo sin que se produzcan efectos nocivos sobre la estructura y funcionamiento del ecosistema (Hettneringh et al., 1991).

El objetivo de nuestro estudio es analizar la capacidad de depuración de los suelos frente al Cu y Pb procedentes de la oxidación de lodos de una mina pirita.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó con 19 muestras de suelos desarrollados sobre diferentes materiales. La solución contaminante se obtuvo poniendo en contacto, durante 3 días, 10 gramos de lodo procedente del vertido minero de Azarcollar con 1000 cm³ de H₂O al 15% (Urrutia et al., 1992). La concentración de la solución contaminante en Cu y Pb fue de 14.54 y 3.18 mg dm⁻³ respectivamente (pH=1.7).

A 10g de cada una de las muestras de suelo se le añadieron distintas dosis de solución contaminante (10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 150, 200, 300, 400 y 500 cm³), después de 72 horas en agitación (Alonso et al., 1997), a cada extracto se añadió solución contaminante se le midió el pH y se centrifugó separando el sobrenadante y el suelo. En el sobrenadante, mediante ICP-MS en un espectrómetro PE SCIE X ELAN-5000 A, se determinaron Cu y Pb. La **cantidad de Cu y Pb retenido o precipitado** por cada suelo se obtuvo por diferencia entre su concentración en la solución contaminante y en el sobrenadante.

Una vez separado el sobrenadante, la **fracción móvil o biodisponible de Cu y Pb** en los suelos de cada extracto se extrajo mediante una solución de NH₄NO₃ 1M, según las normas DIN 19730 (Prüß, A. 1997) y se midió en ICP-MS.

Los **métodos analíticos** utilizados en la determinación de las propiedades de los suelos fueron: pH, medido en una suspensión suelo/agua y suelo/KCl en relación 1:2.5; carbono orgánico, método de Tyurin (Tyurin, I.V. 1951); carbonatos, método de Barahona (Barahona, E. 1994); análisis granulométrico, método de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972); superficie específica (Keeling, P. 1961); capacidad de cambio catiónico, determinada con acetato sódico (N, pH = 8.2); óxidos de hierro libre, método de Holmgren (Holmgren, G.S. 1979).

La capacidad también de cada suelo (CT) la estimamos a partir del pH del suelo sin contaminar, pH de la solución contaminante y pH del extracto suelo 50 cm³ de solución contaminante; expresándose en mmol de H⁺ necesarios para que un kg de suelo disminuya su pH en una unidad (mmol H⁺ kg⁻¹ pH⁻¹).

Los datos obtenidos se procesaron con el programa estadístico SPSS 10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Asignamos las muestras a dos grupos atendiendo a su contenido en CaCO₃ % (Tabla 1).

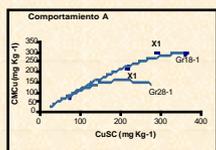


Fig. 1A: Comportamiento de los suelos con un contenido en CaCO₃ > 5%.

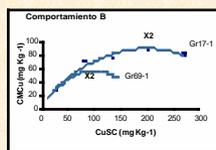


Fig. 1B: Comportamiento de los suelos con un contenido en CaCO₃ < 5%.

A partir de estos datos y de las propiedades de los suelos llevamos a cabo un análisis de componentes principales (Tabla 2), en el que cuatro factores explican casi el 85% de la varianza.

Variable	F1	F2	F3	F4
pH _{sol}	0.580			
% CaCO ₃	0.685	0.562		
% Mat. Org.			0.966	
Ca ²⁺ (mmol kg ⁻¹)	0.831		0.746	
CCC (cmol ⁺ kg ⁻¹)		0.592		0.746
% Arcilla		0.927		
Ss (m ² /g)		0.864		
CT (mmol H ⁺ Kg ⁻¹ pH ⁻¹)	0.877			
CMB _{Cu} (mg Kg ⁻¹)		0.930		
CM _{Cu} (mg Kg ⁻¹)	0.925			
CMB _{Pb} (mg Kg ⁻¹)		0.960		
CM _{Pb} (mg Kg ⁻¹)	0.916			
Varianza acumulada (%)	39	62	75	84

- Factor 1: Incluye la capacidad de cambio (CT) del suelo, el contenido en carbonatos (CaCO₃) y el calcio de cambio (Ca²⁺) y la contaminación máxima de Cu (CM_{Cu}) y Pb (CM_{Pb}).
- Factor 2: Incluye también el contenido en CaCO₃ y la contaminación máxima biodisponible de Cu y Pb.
- Factor 3: Agrupa la superficie específica de los suelos (Ss), la fracción inorgánica más fina (arcilla) y, igualmente, la capacidad de cambio catiónico (CCC) relacionada con la arcilla.
- Factor 4: Incluye el contenido en materia orgánica y la fracción de la CCC relacionada con ella.

Tabla 2: Análisis de componentes principales. Matriz de correlación

CONTAMINACIÓN MÁXIMA BIODISPONIBLE

La matriz de correlación indica que no existen relaciones significativas entre la contaminación máxima biodisponible de Cu (CMB_{Cu}) y Pb (CMB_{Pb}) y las propiedades del conjunto de los suelos. No obstante, si dividimos los suelos en dos grupos en función de su contenido en CaCO₃, inferior o superior al 5%, encontramos las siguientes relaciones:

Suelos con % CaCO₃ < 5% Son suelos con un porcentaje medio de CaCO₃ de 0.9% y capacidad tampón inferior a 30 mmol H⁺ kg⁻¹ pH⁻¹, en los que la contaminación máxima biodisponible (CMB) está relacionada directamente con la contaminación máxima (CM) e inversamente con la capacidad de cambio catiónico (CCC) mediante las siguientes ecuaciones de regresión múltiple:

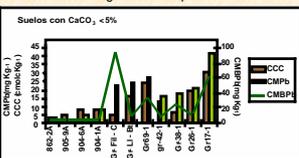


Fig. 3: CMB_{Pb} (mg kg⁻¹) = 3.587 CM_{Pb} (mg kg⁻¹) - 3.121 CCC (cmol_c kg⁻¹)
r = 0.905, p < 0.001

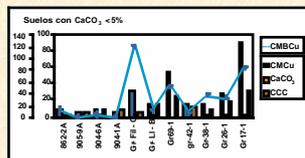


Fig. 4: CMB_{Cu} (mg kg⁻¹) = 1.471 CM_{Cu} (mg kg⁻¹) + 24.572 CaCO₃ (%) - 1.849 CCC (cmol_c kg⁻¹)
r = 0.984, p < 0.001

Suelos con % CaCO₃ > 5% Son suelos con una capacidad tampón superior a 40 mmol H⁺ kg⁻¹ pH⁻¹, en los que la contaminación máxima biodisponible está directamente relacionada con el pH_{sol} e inversamente con la CCC mediante las ecuaciones:

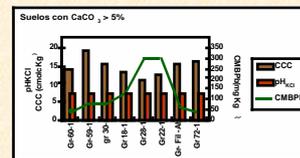


Fig. 5: CMB_{Pb} (mg kg⁻¹) = 43.953 pH_{sol} - 15.284 CCC (cmol_c kg⁻¹)
r = 0.949, p < 0.01

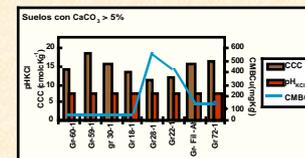


Fig. 6: CMB_{Cu} (mg kg⁻¹) = 80.082 pH_{sol} - 2.972 CCC (cmol_c kg⁻¹)
r = 0.874, p < 0.05

CONCLUSIONES

- En el conjunto de suelos estudiados, el contenido en carbonato cálcico equivalente y la capacidad de intercambio catiónico (el calcio de cambio), son los dos parámetros que fundamentalmente regulan la precipitación y adsorción del Cu y Pb disueltos en las soluciones ácidas procedentes de minas de pirita.
- Si bien la capacidad de intercambio catiónico (CCC) de los suelos adsorbe elementos contaminantes, éstos quedan biodisponibles; de forma que cuanto mayor sea el valor de la CCC, la cantidad máxima biodisponible se alcanzará a una menor concentración del elemento.

Suelo	pH _{sol}	CaCO ₃ %	M. Org. %	Ss	Ca ²⁺	CCC	CT
		%	%	mg	cmol _c kg ⁻¹	mmol H ⁺ kg ⁻¹ pH ⁻¹	
862-2	5.95	0.16	1.62	12.7	4.54	2.50	3.51
905-9	6.55	0.71	0.98	14.6	13.7	4.25	6.62
904-6	4.13	0.79	5.06	8.0	17.7	2.75	8.79
904-1	4.36	0.09	1.98	10.6	34.8	6.75	7.73
Fl-C	7.15	3.32	2.50	17.9	14.0	6.00	5.62
Li-Bt	4.66	0.98	1.01	54.2	108.5	10.8	16.17
Gr-9	6.97	0.44	8.70	23.1	69.3	23.00	24.80
Gr-2	6.20	0.64	3.69	11.1	43.9	9.50	12.65
Gr-38	6.61	0.70	1.93	12.7	19.5	6.50	7.03
Gr-26	7.10	0.57	1.74	56.8	103.5	16.21	18.96
Gr-17	6.85	0.90	7.90	20.6	111.9	28.00	39.93
Gr-60	7.51	56.5	1.90	21.9	43.7	41.89	13.71
Gr-59	7.35	22.9	2.71	24.8	78.5	30.50	18.98
Gr-10	7.51	59.0	3.34	24.1	54.6	27.25	15.47
Gr-18	7.20	79.6	0.85	36.6	62.8	24.25	13.36
Gr-28	7.47	32.6	3.08	25.5	29.8	10.00	11.25
Gr-22	7.30	84.6	1.90	3.6	3.6	4.25	12.30
Fl-Ah	7.52	19.6	6.77	21.9	32.7	12.25	14.45
Gr-72	7.19	5.10	2.39	31.5	76.5	27.00	16.17

Tabla 1: Propiedades de los suelos que asignamos a dos grupos atendiendo a su contenido en CaCO₃

CONTAMINACIÓN MÁXIMA

La matriz de correlación obtenida (Tabla 3) pone de manifiesto que las contaminaciones máximas de Cu (CM_{Cu}) y Pb (CM_{Pb}), están relacionadas fundamentalmente con el contenido en CaCO₃ y el calcio de cambio (Ca²⁺).

Dado que el calcio es el catión de cambio mayoritario en todos los suelos, también existe una relación significativa entre los valores de CM y la CCC de los suelos según las siguientes ecuaciones de regresión:

$$CM_{Cu} \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = 3.101 \text{ CaCO}_3 \text{ (\%)} + 2.700 \text{ CCC (cmol}_c\text{ kg}^{-1}\text{)} \quad r = 0.939, \quad p < 0.0001$$

$$CM_{Pb} \text{ (mg Kg}^{-1}\text{)} = 0.656 \text{ CaCO}_3 \text{ (\%)} + 1.410 \text{ CCC (cmol}_c\text{ kg}^{-1}\text{)} \quad r = 0.956, \quad p < 0.0001$$

Estas relaciones aparecen recogidas en el gráfico siguiente:

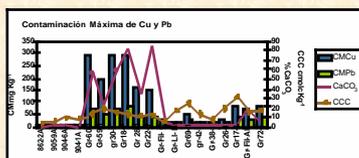


Fig. 2: Valores de CM_{Cu} y CM_{Pb} obtenidos en el conjunto de los suelos

	pH _{sol}	pH _{sol}	CaCO ₃ %	Ca ²⁺	CCC	CT	CMB _{Cu}	CM _{Cu}	CMB _{Pb}	CM _{Pb}
% CaCO ₃	0.51*	1.00								
Ca ²⁺ (mmol kg ⁻¹)	0.54*		1.00							
CCC (cmol kg ⁻¹)			0.56*	1.00						
CT (mmol H ⁺ kg ⁻¹ pH ⁻¹)	0.52*	0.52*	0.74*		1.00					
CMB _{Cu} (mg kg ⁻¹)						1.00				
CM _{Cu} (mg kg ⁻¹)	0.62**	0.86**	0.71**		0.79**		1.00			
CMB _{Pb} (mg kg ⁻¹)								1.00		
CM _{Pb} (mg kg ⁻¹)	0.67**	0.78**	0.80**		0.75**		0.96**		1.00	

Tabla 3: Matriz de correlación. *p < 0.05; **p < 0.01