

## **SUELOS DESARROLLADOS SOBRE MATERIALES ALUVIALES AFECTADOS POR ACTIVIDADES MINERAS EN EL ARTEAL (CUEVAS DEL ALMANZORA, ALMERÍA)**

Diego M. Collado Fernández<sup>(1)</sup>, Juan A. Sánchez Garrido<sup>(1)</sup>, Andrés Navarro Flores<sup>(2)</sup> y Fernando del Moral Torres<sup>(1)</sup>.

Dpto. de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Almería. La Cañada de S. Urbano s/n. 04120 Almería

Dpto. de Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Cataluña. C/ Colon, 7-11. 08222 Terrassa

**RESUMEN.** La intensa actividad minera a lo largo de la historia en el distrito minero de Sierra Almagrera-Las Herrerías llevó consigo la generación de grandes volúmenes de residuos (escombreras, fangos de flotación, escorias de fundición...) depositados de forma indiscriminada en su mayoría sobre el acuífero deltaico del Valle Bajo y Delta del río Almanzora. De todos ellos, destaca por su tamaño la masa de fangos de flotación de El Arteal (más de un millón de m<sup>3</sup>) con altos contenidos medios de Pb (5428 ppm), As (265 ppm), Zn (2200 ppm), Ba (4,9%), Ag (27,5 ppm), etc.

Los suelos desarrollados sobre los materiales aluviales en las inmediaciones de las zonas de acumulación de estos residuos presentan contenidos muy elevados de Pb, As, Ba y puntualmente de Zn y Cd en todos sus horizontes como consecuencia no sólo de la dispersión de los contaminantes sino también por las labores agrícolas.

El cultivo incontrolado, incluso sobre los propios fangos, supone un riesgo ambiental que hace necesaria, de forma inmediata, una actuación encaminada a la restauración de los mismos.

# INTRODUCCIÓN

El paraje conocido como El Arteal se encuentra localizado junto al distrito minero de Sierra Almagrera-Las Herrerías, en el término municipal de Cuevas del Almanzora (Almería).

Los materiales aflorantes en la zona son básicamente Terciarios (margas y margocalizas) que constituyen el relleno de la cuenca de Las Herrerías. Éstos están separados del macizo metamórfico de Sierra Almagrera, formado por micasquistos grafitosos y filitas, por la fractura del El Arteal. Discordantemente y de forma indistinta, sobre todos ellos se disponen los depósitos cuaternarios tanto del río Almanzora como de la rambla de Canalejas, que forman el acuífero del Valle Bajo y Delta del río Almanzora ([Fig. 1](#)).

La explotación de las mineralizaciones de Sierra Almagrera-Las Herrerías (galena argentífera, sulfosales de Pb-Sb-Ag, pirita, calcopirita, marcasita, esfalerita, siderita y baritina), se remonta al periodo Neolítico (3500 años a. C.) y ha continuado de forma más o menos continua hasta la actualidad.

En 1945 la recién creada Minas de Almagrera S. A. adquirió en propiedad la práctica totalidad de las concesiones mineras y construyó un lavadero de flotación con una capacidad media de 800 tm/día. La actividad minera perduró de forma más o menos intensa hasta el año 1957, en el que se abandonó definitivamente la explotación subterránea de las minas, si bien la planta de flotación continuaría trabajando hasta 1958. A partir de 1967, distintas empresas privadas reanudan el lavado de escombreras con leyes suficientes en Pb y Ag, llegando a funcionar la planta de flotación con dos líneas de concentración: sulfuro de plomo y piritas, hasta 1991, cuando finaliza la explotación definitiva de las minas de Sierra Almagrera.

Los fangos generados durante esta etapa quedaron depositados de forma incontrolada sobre el terreno sobre los materiales aluviales de la rambla de Canalejas, y con el paso del tiempo se han transformado en el principal foco de contaminación de la zona, no solo del suelo, sino también de las aguas subterráneas. Los residuos ocupan una superficie de 12 ó 13 ha, apareciendo dispuestos en forma de grandes terrazas desprovistas de vegetación y sometidas de forma continua a la acción tanto del viento como de la escorrentía superficial ([Fig. 2](#)).

En los años 50 se construyeron en el delta una serie de pozos que eran regidos por pequeñas comunidades de usuarios, lo que permitió la transición paulatina de los cultivos tradicionales de secano a los de regadío, primero en forma de pequeñas huertas para el consumo familiar y el abastecimiento del mercado local. Tras la puesta en funcionamiento de la presa de Cuevas del Almanzora se pasa de los cultivos tradicionales a las grandes plantaciones dedicadas en exclusiva a la exportación,

umentando progresivamente la superficie de cultivo, que ha llegado a ocupar incluso parte de los fangos mineros.

Este trabajo forma parte de las investigaciones que estamos realizando con el fin de caracterizar la contaminación, modelizar el transporte de estos contaminantes en la zona no saturada y plantear alternativas para su regeneración.

## **METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Estas particularidades justifican la realización de un estudio cuyo fin es determinar el nivel de afección que han sufrido hasta ahora los suelos de la zona y estudiar de qué forma las propiedades físicas y químicas de los mismos pueden favorecer o amortiguar esta contaminación. Si a esto se añade el hecho de que estos suelos se encuentran cultivados de forma intensiva, se puede estar generando un problema de riesgo ambiental desconocido y de consecuencias imprevisibles.

Tras la caracterización y recogida de muestras se procedió a su análisis por los métodos habituales: pH, análisis granulométrico, carbono orgánico, nitrógeno total, carbonatos, capacidad y bases de cambio, retención de agua a 33 y 1.500 kPa., conductividad y sales solubles del extracto de saturación.

Para determinar los elementos traza presentes en los suelos se optó por la Activación Neutrónica (INAA) por ser éste un método muy preciso, en el que la manipulación de la muestra es en mínimo y de un coste relativamente bajo. Las determinaciones fueron realizadas en Actlab's (Canadá) para 35 sustancias: Au, Ag, As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, La, Lu, Mo, Na, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Eu, Fe, Sr, Sm, Sn, Ta, Th, Tb, U, W e Yb, mientras que se ha determinado también Cu, Pb, Zn, Mn, Sr, Ca, Mg y Cd por ICP-MS tras digestión ácida en el mismo laboratorio.

De forma paralela se procedió a un detallado estudio de caracterización de los fangos mineros: composición, textura, C.E., etc.

## **RESULTADOS**

Los resultados analíticos obtenidos en el levantamiento de los perfiles (Tablas [1](#), [2](#) y [3](#)) junto con los datos obtenidos en el campo indican que, en general, se trata de suelos desarrollados sobre materiales, con texturas francas y un claro predominio de la fracción arena fina y limo, pero con la peculiaridad de que en éstos aparecen algunas

bolsadas de fangos incorporados al suelo. Esto alcanza un caso extremo en el perfil El Arteal 1 en en que los horizontes 2C y 3C los constituyen los propios fangos.

El contenido en materia orgánica es muy bajo y el pH de medianamente básico a básico a ligeramente alcalino. La CIC es baja como corresponde con la textura y con el contenido en materia orgánica.

## **ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS TRAZA**

Los resultados analíticos obtenidos para los elementos traza ([Tabla 4](#)) muestran que la contaminación afecta a todos los horizontes del suelo.

Los fenómenos de dispersión de los contaminantes en la zona están condicionados principalmente y en orden de importancia por el viento y por la escorrentía superficial ([Fig. 3](#)).

La ausencia de una cubierta vegetal protectora y el tamaño de grano de los fangos, fundamentalmente limosos, facilitan la dispersión por parte del viento, apareciendo en la superficie de los mismos estructuras típicas de erosión eólica. Por otra parte, las escasas y torrenciales precipitaciones de la zona, ocasionan el arrastre de materiales por la escorrentía superficial favorecida por la baja permeabilidad de los fangos, lo que ha llevado al desarrollo de una serie de cárcavas y abarrancamientos con la aparición incluso de pipping.

Estos procesos depositan los contaminantes en la superficie del terreno, siendo posteriormente incorporados a los horizontes más profundos por el laboreo agrícola y por fenómenos de transporte.

Para evaluar los niveles de contaminación de los suelos recurriremos a la normativa holandesa (Ministry of Housing, Spatial Planing and Environment of Netherlands, 1994), que es una de las más empleadas en este tipo de estudios. En esta normativa se proponen unos valores denominados "target" o niveles deseables, y otros que son los valores de intervención, que tras ser superados los mismos debe acometerse una restauración. Estos valores de intervención vienen dados para un suelo estandar (10% de materia orgánica y 25% de arcilla), por lo que es necesario aplicar una fórmula correctora en función de tipo de suelo:

Donde

$I_e$  : valor de intervención aplicado al suelo que está siendo evaluado (mg/kg)

$I_{st}$  : valor de intervención para un suelo estandar (mg/kg)

A, B y C : constantes que dependen de cada sustancia.

Aplicando el coeficiente corrector en los suelos de El Arteal ([Tabla 5](#)), se supera ampliamente para algunos metales.

Por otro lado, si aplicamos los umbrales de contaminación propuestos para elementos traza y utilizados como referencia por la Junta de Andalucía (Medioambiente, 2000) encontramos que el Pb excede en hasta en seis veces los niveles en los que se considera necesario un tratamiento de forma obligatoria, el As excedería este nivel hasta en 4,6 veces, mientras que las cantidades de Zn presentes recomendarían una investigación en casi todos los suelos, debiéndose tratar de forma obligatoria dos de ellos. Para el Cd ocurriría algo similar.

Existen otras sustancias que no se contemplan en ninguna de estas dos normativas, pero que sí lo hacen otras. Este podría ser el caso del Sb o el Mn en la normativa del Reino Unido, en la que se considera un suelo contaminado para valores de entre 50 y 100 ppm para al primero y entre 1.000 y 2.000 para este último. Prácticamente todos los horizontes de los suelos de El Arteal se encuentran en estos intervalos, sobrepasando incluso algunos de ellos estos valores, por lo que se clasificarían como muy contaminados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados analíticos relativos a la caracterización de los suelos de El Arteal indica que pueden considerarse como muy contaminados y que sería necesaria una intervención inmediata encaminada a su recuperación.

La no intervención sobre estos suelos podría tener consecuencias negativas tanto para la economía como para la salud, ya que la principal reserva de agua para periodos de sequía, como el que atravesamos, lo constituye el acuífero deltaico del río Almanzora en el que se ha puesto de manifiesto contenidos anómalos de algunos contaminantes en zonas cercanas a explotaciones mineras (Collado *et al.*, 1999), sin hablar del riesgo para la salud que supondría incorporación a la cadena trófica de metales pesados por ingesta de productos agrícolas que podrían estar contaminadas.

Los perfiles y sondeos de superficie realizados en las inmediaciones de El Arteal indican que el área afectada, cultivada prácticamente todo el año, es muy amplia, presentando contenidos muy elevados de Pb, As, Ba y Zn entre otras sustancias.

La solución a este problema pasaría en un primer lugar por la impermeabilización y estabilización de los taludes de los fangos mineros con el fin de impedir la dispersión de

los contaminantes. Navarro *et al.*,(1999) proponen distintas alternativas de restauración para la zona, entre las que destaca por su novedad la aplicación de una barrera reactiva. Posteriormente se procedería al saneamiento de los suelos afectados con un procedimiento adecuado dadas las características de los mismos. Finalmente, sería necesario realizar un detallado seguimiento en los cultivos, obligando, si se considera necesario a variar el tipo de cultivo.

## **REFERENCIAS**

Collado Fernández, D. M.; Navarro Flores, A. y Font Cisteró, X. (1999). Evaluación de la movilidad de los metales pesados en el acuífero deltaico del río Almanzora (Almería) mediante ensayos de campo y de laboratorio. *Minería, Industria y Medio Ambiente en la Cuenca Mediterránea*, 55-66.

IGME (1974). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja 1015, Garrucha. Madrid.

Llamas, J. M.; Hervás, L.; Martínez Escriche, F. Y Otero, F. (2000). Suelos contaminados. *Medioambiente* nº 34, p 54-57.

Ministry of Housing, Spatial Planing and Environment of Netherlands (1994). Circular on intervention values for soil remediation. 19 pp.

Navarro Flores, A.; Collado Fernández, D. M. Y Sánchez Garrido, J. A. (1999). Contaminación de suelos por actividades mineras en el entorno del área minera de Sierra Almagrera. Características generales y mecanismos de movildad. *Minería, Industria y Medio Ambiente en la Cuenca Mediterránea*, 27-40.

Tyler Miller, G. (1988). *Living in the Environment. Principles, conections and solutions*. 761 pp.

## Tablas y Figuras.

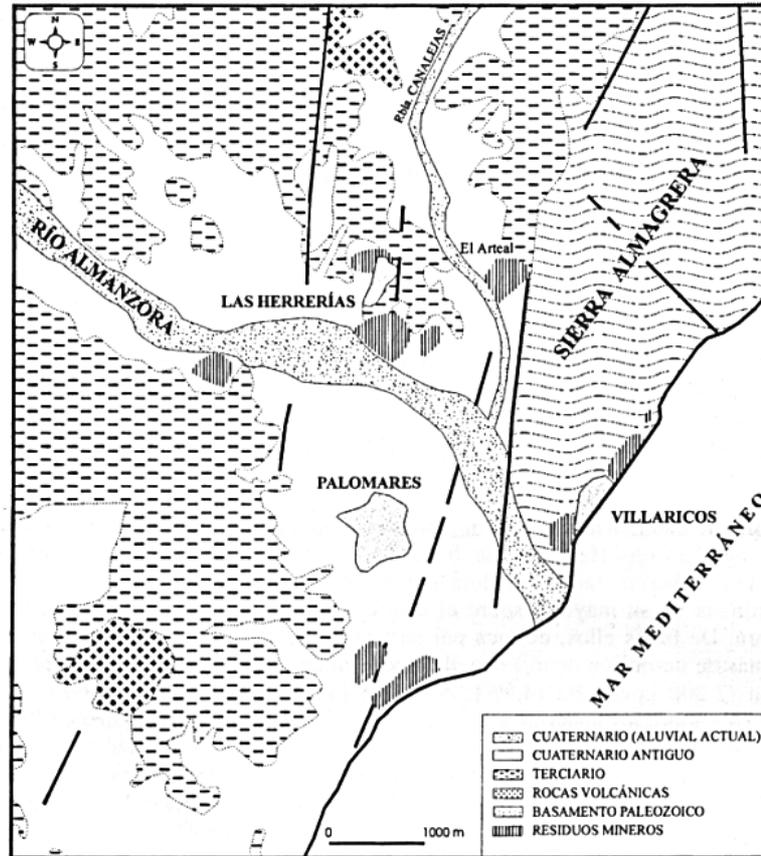


Figura 1.- Mapa geológico sintético de la zona de El Arteal. Modificado de IGME (1974).



Figura 2.- Panorámica donde se observa: los fangos de flotación de El Arteal, la localización de los perfiles estudiados, los campos de cultivo y al fondo Sierra Almagrera.

Figura 3.- Esquema de los mecanismos de dispersión de contaminantes en El Arteal. Modificado de Tyler Miller (1988).

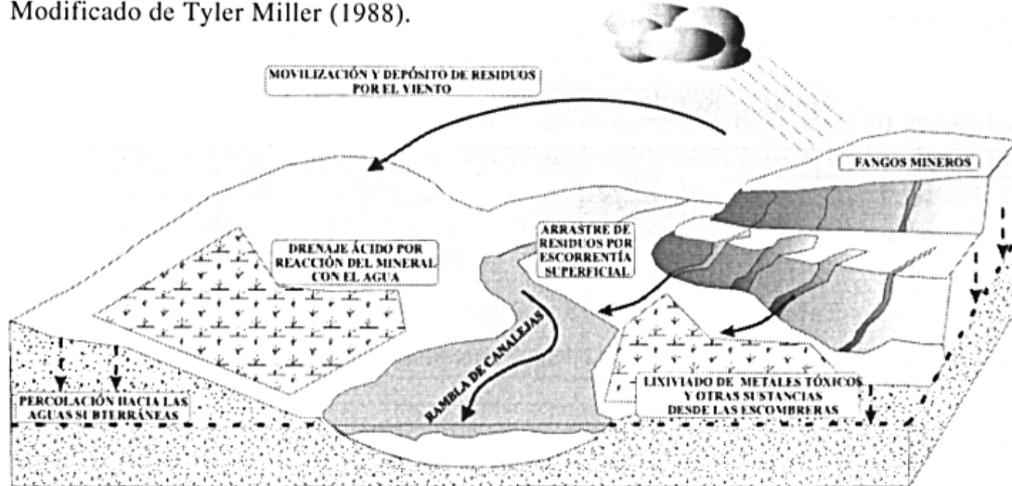


Tabla 1.- Resultados analíticos del perfil El Arteal 1.

MUESTRA	Prof. (cm)	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	% CaCO <sub>3</sub>	pH	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	CIC (cm+kg <sup>-1</sup> )	C.O.%
Ap1	0-23	57,1	53,2	34,1	12,7	11,6	8,20	5,68	6,8	1,02
Ap2	23-38	67,0	52,9	34,6	12,5	12,9	8,20	6,63	9,5	0,84
Ap3	38-48	66,8	56,7	31,0	12,3	13,4	8,50	12,29	5,0	0,71
AC	48-58	57,9	67,3	28,6	4,1	10,0	8,5	13,34	4,1	0,42
2C	58-68	0,2	23,0	68,2	8,8	0,5	8,1	7,19	4,1	0,59
3C	68-80+	0,9	57,6	36,5	5,9	0,7	7,8	7,06	2,3	0,75

Tabla 2.- Resultados analíticos del perfil El Arteal 2.

MUESTRA	Prof. (cm)	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	% CaCO <sub>3</sub>	pH	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	CIC (cm+kg <sup>-1</sup> )	C.O.%
Ap	0-12	19,7	33,6	51,0	15,4	7,9	8,40	4,94	11,3	1,31
C1	12-34	14,3	23,6	56,8	19,6	7,9	8,60	7,19	10,4	1,24
C2	34-70+	2,5	15,2	64,5	20,3	7,6	8,90	7,06	10,4	0,85

Tabla 3.- Resultados analíticos del perfil El Arteal 3.

MUESTRA	Prof. (cm)	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	% CaCO <sub>3</sub>	pH	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	CIC (cm+kg <sup>-1</sup> )	C.O.%
Ap1	0-10	18,3	46,8	40,2	13,0	5,1	7,90	3,58	4,3	1,30
Ap2	10-27	15,4	46,8	40,5	12,7	5,4	7,73	4,21	5,8	1,08
C	27-40/51	17,8	47,8	39,6	12,6	5,0	7,70	4,61	5,8	0,91
2C	40/51-80+	0,1	71,4	22,1	6,5	3,9	8,00	4,05	3,4	0,38

Tabla 4.- Contenido en algunos elementos traza en los suelos estudiados.  
Valores en ppm excepto el Fe (%).

	Ag	As	Ba	Pb	Co	Cr	Zn	Fe	Ni	Rb	Sb	Sr	Th	U	W	Cu	Mn	Cd
EL ARTEAL 1 Ap1	7,8	49	18.000	1.156	9	70	490	6,36	< 20	81	53	1.080	7,7	2,0	5	30	1.994	3,4
EL ARTEAL 1 Ap2	8,6	52	17.000	1.234	11	74	467	6,99	< 20	96	61	1.032	8,2	2,2	6	35	2.021	3,5
EL ARTEAL 1 Ap3	6,0	41	13.000	1.029	9	76	373	5,05	< 20	82	50	809	8,0	2,4	5	28	1.867	2,6
EL ARTEAL 1 AC	4,0	46	16.000	1.110	10	51	497	5,01	< 20	66	37	1.182	6,2	1,3	4	29	1.509	2,3
EL ARTEAL 1 2C	12,1	230	53.000	1.622	8	65	1.685	30	< 20	140	82	3.212	7,3	< 0,5	8	21	4.751	35,0
EL ARTEAL 1 3C	4,5	220	1E+05	3.588	13	59	2.665	12	< 20	85	66	3.283	9,4	0,5	16	22	2.958	12,0
EL ARTEAL 2 Ap	15,1	92	15.000	2.522	12	77	565	5,43	< 20	140	71	1.217	10,0	1,0	7	53	1.330	3,5
EL ARTEAL 2 C1	14,4	92	4.400	3.168	12	93	308	5,14	< 20	180	90	857	12,0	3,1	6	60	895	1,8
EL ARTEAL 2 C2	10,3	80	3.300	2.092	12	93	162	5,15	< 20	180	60	510	14,0	2,7	7	41	725	1,2
EL ARTEAL 3 Ap1	11,0	123	12.000	3.219	15	76	457	5,77	37	138	98	1.200	13,2	4,1	-1	65	1.307	2,1
EL ARTEAL 3 Ap2	10,5	117	12.000	3.161	15	76	440	6,07	38	132	109	1.167	14,2	3,5	-1	64	1.271	2,1
EL ARTEAL 3 C	9,8	109	12.000	2.990	16	85	395	6,24	36	143	104	1.146	13,8	4,9	-1	56	1.262	2,0
EL ARTEAL 3 2C	10,4	146	12.000	3.244	16	81	258	7,07	38	129	94,4	694	12,8	3,0	-1	44	1.565	0,9

Tabla 5.- Valores de intervención (Int.), para cada uno de los suelos caracterizados, según el Ministry of Housing, Spatial Planing and Environment of Netherlands (1994). n. v.: Número de veces que se sobrepasan los valores de intervención de esta normativa.

	As		Ba		Zn		Pb		Cd	
	Int.	n. v	Int.	n.v	Int.	n.v	Int.	n.v	Int.	n.v
EL ARTEAL 1 Ap1	39	1,3	377	48	467	1,1	402	2,9	8,0	0,4
EL ARTEAL 1 Ap2	39	1,3	372	46	461	1,0	399	3,1	7,9	0,4
EL ARTEAL 1 Ap3	38	1,1	369	35	448	0,8	389	2,7	7,5	0,4
EL ARTEAL 1 AC	32	1,4	204	78	326	1,5	342	3,3	6,8	0,4
EL ARTEAL 1 2C	36	6,4	298	178	401	4,2	373	4,4	7,4	4,7
EL ARTEAL 1 3C	34	6,5	240	417	358	7,4	357	10,1	7,2	1,7
EL ARTEAL 2 Ap	42	2,2	431	35	512	1,1	422	6,0	8,5	0,4
EL ARTEAL 2 C1	45	2,0	518	9	578	0,5	448	7,1	8,9	0,2
EL ARTEAL 2 C2	45	1,8	530	6	582	0,3	447	4,7	8,8	0,1
EL ARTEAL 3 Ap1	40	3,1	383	31	475	1,0	407	7,9	8,2	0,3
EL ARTEAL 3 Ap2	40	2,9	377	32	468	0,9	403	7,8	8,1	0,3
EL ARTEAL 3 C	39	2,8	375	32	644	0,6	400	7,5	8,0	0,3
EL ARTEAL 3 2C	34	4,3	252	48	363	0,7	356	9,1	7,0	0,1